



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN KROMIUM (Cr)  
TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO  
PADUAN Fe-Cr-Ni MELALUI PROSES PENGECORAN  
MENGUNAKAN ELECTRIC ARC FURNACE**

Marvin Suganda Gunawan  
NRP 2712 100 129

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan , S.T., M.Eng

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT – TL141584

**THE EFFECTS OF CHROME (Cr) ADDITION ON  
HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF Fe-Cr-Ni  
ALLOY THROUGH CASTING METHOD WITH  
ELECTRIC ARC FURNACE**

Marvin Suganda Gunawan  
NRP 2712 100 129

Advisors

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan , S.T., M.Eng

Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**PENGARUH PENAMBAHAN KROMIUM (Cr)  
TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO PADUAN Fe-Cr-Ni MELALUI PROSES  
PENGECORAN DENGAN MENGGUNAKAN ELECTRIC  
ARC FURNACE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MARVIN SUGANDA GUNAWAN**  
NRP 2712100129

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.....(Pembimbing 2)

**Surabaya,**  
**Januari 2016**



**PENGARUH PENAMBAHAN KROMIUM (Cr)  
TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO PADUAN Fe-Cr-Ni MELALUI PROSES  
PENGECORAN DENGAN MENGGUNAKAN ELECTRIC  
ARC FURNACE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MARVIN SUGANDA GUNAWAN**  
NRP 2712100129

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. .... (Pembimbing 1)
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. .... (Pembimbing 2)

**Surabaya,  
Januari 2016**





**Pengaruh Penambahan Kromium (Cr) Terhadap Sifat  
Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni melalui  
Proses Pengecoran dengan Menggunakan *Electric Arc  
Furnace*.**

**Nama** : Marvin Suganda Gunawan  
**NRP** : 2712100129  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

**Abstrak**

*Perubahan kekerasan dan struktur mikro paduan Fe-Cr-Ni yang ditambahkan krom telah dipelajari. Penambahan krom sebanyak 18, 20, 22, 24 %wt bertujuan untuk meningkatkan sifat kekerasan paduan. Dengan memiliki kekerasan yang tinggi, paduan dapat diaplikasikan di peralatan teknik seperti cryogenic vessels, heat exchangers, dan pipa. Pengaruh penambahan kromium pada paduan akan dikarakterisasi dengan Optical Emission Spectroscopy, kekerasan, metalografi, EDX, dan X-Ray Diffraction. Peleburan paduan dilakukan dengan menggunakan Electric Arc Furnace. Studi ini menghasilkan pembuatan Fe-Cr-Ni yang lebih cepat dibandingkan dengan studi sebelumnya. Penambahan krom pada paduan Fe-Cr-Ni mengakibatkan naiknya kekerasan serta komposisi krom pada paduan. Hasil paduan menunjukkan fasa austenite, dan karbida krom. Mikrostruktur paduan juga berubah dari ferrite dan pearlite, menjadi austenite dan karbida krom.*

**Kata Kunci : Fe-Cr-Ni, Kromium, Kekerasan, Struktur mikro.**

**The Effects of Chrome (Cr) Addition on Hardness and  
Microstructure of Fe-Cr-Ni Alloy Through Casting Method  
With Electric Arc Furnace.**

**Name** : Marvin Suganda Gunawan  
**NRP** : 2712100129  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

**Abstract**

*The transformation of hardness and microstructure of Chrome addition in Fe-Cr-Ni alloy was studied. 18,20,22,24 %wt Chrome was added to improve a hardness value of the alloy. By improving the hardness value, the alloy can be applied to engineering equipment such as cryogenic vessels, heat exchangers, and pipelines. The experimental alloy was melted in an electric arc furnace, and casted to a refractory brick. The transformation structures were characterized using Optical Emission Spectroscopy, Brinell hardness, metallography, EDX and X-Ray Diffraction. This study deliver a faster way to produce Fe-Cr-Ni alloy compared to previous research. Chrome additions improved the hardness value, as well as the chemical composition of the alloy. The microstructure of resulted alloy changed from chrome carbide, and pearlite to austenite, and chrome carbide phase.*

**Keywords** : Fe-Cr-Ni, Kromium, Kekerasan, struktur mikro.

## Kata Pengantar

Proses manufaktur, pembentukan, dan pengolahan raw material menjadi barang yang berdaya guna tidak akan dapat berkembang pesat tanpa adanya material yang memiliki kekerasan yang tinggi. Di Indonesia, usaha untuk memproduksi paduan Fe-Cr-Ni sangat minim. Berangkat dari itu, penulis melakukan riset tentang paduan Fe-Cr-Ni.

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah, Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan penulis limpahan rahmat untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang analisis pengaruh unsur paduan terhadap sifat fisik dan mekanik baja paduan Fe-Cr-Ni melalui metode pengecoran.

Penulis mengucapkan terima kasih spesial kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Ibu penulis yang selalu mendoakan dan memberi dorongan motivasi selama ini
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc dan Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis
4. Pak Anto, Pak Chanan, Pak Tari, Mas Ridho, Mas Asman, Pak Marsono selaku mentor selama perjalanan penelitian Tugas Akhir
5. Rekan satu tim Imam Syafiudin, Ali Yafi, Huffal Azhar Fadly, dan Hafidh Frian atas semua kerjasamanya
6. Mas Paiman, Pak Hartono, dan Mbak Iis yang telah membantu dalam penyediaan alat, preparasi bahan dan spesimen, serta pengambilan data.
7. Keluarga laboratorium Inovatif yang memberikan atmosfer penelitian yang kuat
8. Seluruh kolega angkatan 2012 yang selalu saling menguatkan dalam bingkai keriaan.



9. Mentor dan teman-teman Astra 1st; Kak Sylvia, Kak Ramsi, Kak Audrey, Kak Uta, Juffery, Levisya, Surya, Ignasius Sagita, dan Easter Dea yang telah membimbing, mengajarkan, dan membangun *soft skill* penulis.
10. Teman baik penulis; Stephanie Olivia yang selalu memberikan bantuan moril kepada penulis.
11. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, baik dari segi penyusunan, bahasan, ataupun penulisan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Akhir kata, penulis berharap bahwa laporan Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat bagi semua orang.

Surabaya, Januari 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Besi dan Baja.....	5
2.2 Kromium (Cr).....	8
2.3 Nikel (Ni).....	10
2.4 Pengaruh Unsur Paduan .....	12
2.5 Diagram Equilibrium Paduan Fe-Cr-Ni .....	13
2.6 Baja Tahan Karat ( <i>Stainless Steel</i> ) .....	17
2.6.1 Pengaruh Unsur Paduan pada <i>Stainless steel</i> .....	18
2.6.2 Schaeffler Diagram .....	20
2.7 Electric Arc Furnace.....	21
2.7 Electric Arc Furnace.....	21
2.9 Pengecoran .....	23
2.9.1 Pola.....	24
2.9.2 Cetakan.....	24
2.9.3 Cetakan Pasir.....	27
2.9.4 <i>Defect</i> dalam Proses Pengecoran .....	28

<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>30</b>
3.1 Diagram Alir.....	31
3.2 Metode Penelitian .....	32
3.3 Material.....	33
3.4 Alat .....	33
3.5 Prosedur Percobaan .....	35
3.6 Proses Pengujian.....	35
3.6.1 Pengujian OES .....	36
3.6.2 Pengujian Metalografi.....	37
3.6.3 Pengujian Kekerasan .....	38
3.6.4 Pengujian XRD .....	39
3.6.4 Pengujian EDX.....	40
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Analisa Makro Paduan Fe-Cr-Ni.....	43
4.2 Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni .....	45
4.3 Pengujian Kekerasan .....	47
4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni .....	49
4.5 Pengamatan Pengujian EDX .....	53
4.6 Pengamatan Hasil XRD Paduan Fe-Cr-Ni .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>ix</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxxiv</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Struktur Mikro Baja Karbon Rendah AISI 1010 (Shah, 2009) .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C (Avner, 1974) .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Kromium Murni (Outokumpu, 2013) .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Diagram Fasa Fe-Cr (Avner, 1974) .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Diagram Fasa Fe-ni (Calphad, 2008) .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Diagram Fasa Cr-Ni (SGTE Nuclear Database, 2006) .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Diagram Fasa Fe-18Cr-8Ni (Avner, 1974) .....	16
<b>Gambar 2.8</b> Ternary Diagram Fasa Fe-Cr-Ni ( , ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram, 1992) ...	16
<b>Gambar 2.9</b> Pendinginan quenching pada paduan bebas karbon (Gulyayev, 1984) .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Pengaruh temperature terhadap ketangguhan a) Nikel , b) Kromium (Gulyayev, 1984) .....	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Percobaan 31	
<b>Gambar 3.2</b> Dimensi Tampak Depan Electric Arc Furnace .....	35
<b>Gambar 3.3</b> Prinsip kerja OES (Shimadzu, 2000) .....	36
<b>Gambar 3.4</b> Alur Pantul Sinar Pada Metalografi ( , ASTM E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens, 1992) .....	38
<b>Gambar 3.5</b> Skema Kerja XRD (D. M. Moore and R. C. Reynolds, 1997) .....	40
<b>Gambar 3.6</b> Skema Kerja EDX .....	41
<b>Gambar 4.1</b> Paduan Fe-Cr-Ni yang tertutup slag dengan (a) 18 (b) 20 (c) 22 (d) 24 %wt Cr .....	43
<b>Gambar 4.2</b> Paduan Fe-Cr-Ni tanpa slag dengan (a) 18 (b) 20 (c) 22 (d) 24 %wt Cr .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni .....	49
<b>Gambar 4.4</b> Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x .	50
<b>Gambar 4.5</b> Struktur Mikro Paduan Fe-20Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x .	51

<b>Gambar 4.6</b> Struktur Mikro Paduan Fe-22Cr-8Ni. (a) Perbesaran 10x; (b) Perbesaran 20x; (c) Perbesaran 50x; Perbesaran 100x. ....	52
<b>Gambar 4.7</b> Struktur Mikro Paduan Fe-24Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x .	53
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Pengujian EDX .....	54
<b>Gambar 4.9</b> Titik Pengujian Komposisi EDX pada batas butir	54
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Pengujian XRD Keempat Spesimen. ....	57



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat Fisik Krom (Cr) (Callister, 1940) .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Sifat Fisik Nikel (Ni) (Callister, 1940) .....	10
<b>Tabel 2.3</b> Mechanical Properties Nikel (Callister, 1940) .....	10
<b>Tabel 2.4</b> Penamaan <i>Stainless Steel</i> (Avner, 1974) .....	17
<b>Tabel 2.5</b> Komposisi Stainless Steel Seri 304 (Outokumpu,2013) .....	18
<b>Tabel 2.6</b> Sifat Mekanik Stainless Steel Seri 304 (Outokumpu,2013) .....	18
<b>Tabel 4.1</b> Tabel Massa Slag yang terdapat pada paduan Fe-Cr- Ni .....	45
<b>Tabel 4.2</b> Pengaruh Kromium pada Komposisi Kimia Raw Material paduan Fe-Cr-Ni .....	46
<b>Tabel 4.3</b> Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni .....	46
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni .....	48
<b>Tabel 4.5</b> Spesifikasi Peak pada Setiap Material .....	56



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Baja karbon rendah memiliki kekerasan sekitar 95-110 BHN. Kekerasan ini tergolong rendah untuk digunakan di alat-alat teknik yang membutuhkan sifat kekerasan yang tinggi. Dalam penggunaannya, baja memang dipadukan dengan unsur lainnya untuk mendapatkan sifat kekerasan yang diperlukan. Bila baja itu mengandung juga unsur lain dalam jumlah yang cukup besar sehingga akan merubah sifatnya maka baja itu dinamakan baja paduan (alloy steel) (Avner, 1974).

Penambahan unsur paduan dapat memperbaiki sifat kekerasan maupun sifat lainnya. Krom yang ditambahkan pada baja karbon dapat meningkatkan sifat kekerasan serta sifat ketahanan karat. Baja yang dipadukan dengan krom seringkali disebut baja tahan karat atau *Stainless Steel*. *Stainless Steel* didefinisikan sebagai senyawa besi yang mengandung sedikitnya 10.5% kromium. Baja tahan karat sendiri terbagi dalam beberapa jenis. Apabila diklasifikasikan menurut struktur mikro nya, baja tahan karat terbagi menjadi ferritic, austenitic, dan martensitic (Aggen, 1998).

Penambahan kromium pada baja karbon dapat meningkatkan kekerasan pada paduan seiring dengan meningkatnya dislokasi atom krom dalam struktur kristal baja paduan. Selain itu, krom juga meningkatkan resistansi terhadap oksidasi pada temperatur tinggi, dan merupakan penstabil struktur mikro ferritic. (Molian, 1983). Dalam penambahan krom dalam baja karbon, biasa ditambahkan juga nikel dalam paduan. Nikel ditambahkan untuk membentuk struktur mikro austenite. Hal ini dikarenakan nikel merupakan penstabil austenite yg baik. Nikel pada umumnya akan meningkatkan keuletan dan ketangguhan pada paduan. (Outokumpu, 2013).

Keunggulan paduan Fe-Cr-Ni dengan kekerasan yang tinggi membuat penggunaannya sangat luas. Hal ini dikarenakan pada aplikasi tertentu diperlukan material yang memiliki nilai kekerasan dan tidak boleh terkorosi, seperti heat exchangers, cryogenic vessels, dan pipa (ASM International, 1990). Paduan tersebut memiliki keunggulan seperti kekerasan yang mencapai 130 BHN, dan kekuatan UTS yang mencapai 550 MPA (Outokumpu, 2013).

Kekerasan dan kekuatan dari baja karbon tersebut masih dapat ditingkatkan untuk aplikasi yang lebih lanjut. Salah satu unsur yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari baja karbon ialah kromium. Kemampuan kromium dalam membentuk karbida krom dan dislokasi pada struktur kristal baja akan mempengaruhi nilai kekerasan pada paduan. Melihat kemampuan unsur kromium dalam mempengaruhi sifat kekerasan dan juga struktur mikro pada paduan baja karbon, maka diperlukan riset lebih mendalam tentang pengaruh unsur paduan Cr. Studi ini melakukan variasi penambahan krom sebanyak 18,20,22,24 %wt terhadap baja karbon (Fe-C) untuk mempelajari pengaruh kromium terhadap sifat kekerasan dan juga struktur mikro paduan yang terbentuk.

## **1.2 Perumusan masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan kromium (Cr) terhadap kekerasan paduan Fe-Cr-Ni ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan kromium (Cr) terhadap struktur mikro paduan Fe-Cr-Ni ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh oksigen dari lingkungan sekitar dianggap tidak ada
2. Ketidakstabilan arus pada electric arc furnace diabaikan
3. Pemaduan Fe-Cr-Ni dianggap homogen



#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan kromium (Cr) terhadap kekerasan paduan Fe-Cr-Ni.
2. Menganalisa pengaruh penambahan kromium (Cr) terhadap struktur mikro paduan Fe-Cr-Ni.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan krom terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon sehingga dapat menghasilkan paduan yang memiliki kekerasan yang tinggi dan dengan kualitas yang baik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Besi dan Baja**

Besi dan baja merupakan logam yang paling banyak digunakan manusia untuk berbagai keperluan. Bahan ini telah banyak sumbangnya terhadap perkembangan budaya manusia. Ada beberapa hal yang membuat logam ini banyak digunakan manusia, antara lain :

- Jumlahnya yang cukup melimpah, di alam terdapat cukup banyak besi walaupun tidak sebagi logam murni, sebagai oksida, atau sulfide dalam bijih besi, tetapi teknologi untuk mengolahnya menjadi besi yang siap untuk digunakan sudah dikuasai
- Mempunyai sifat mekanik (kekuatan, keuletan, dll) yang memadai
- Mudah dikerjakan baik dengan forming, maupun dengan machining sehingga mudah dibuat menjadi barang yang berguna bagi manusia
- Harganya relatif murah.
- Dan lain-lain

Besi tidak digunakan dalam keadaan murni, tetapi sebagai paduan, terutama karbon, dikenal sebagai baja dan besi tuang. Baja dan besi tuang bukan hanya berbeda kadar karbonnya tetapi juga berbeda struktur mikro dan tentu juga beberapa sifatnya.

Baja adalah logam yang paling banyak digunakan. Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon dengan kadar karbon tidak lebih dari 2%, ini dinamakan baja karbon (plain carbon steel). Bila baja itu mengandung juga unsur lain dalam jumlah yang cukup besar sehingga akan merubah sifatnya maka baja itu dinamakan baja paduan (alloy steel) (Avner, 1974).

Menurut komposisi kimianya baja digolongkan menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Baja karbon sebenarnya masih mengandung unsur lain, namun hal itu diabaikan karena batas tertentu sehingga tidak banyak berpengaruh. Beberapa unsur memang sengaja ditambahkan pada baja karbon untuk mengimbangi pengaruh dari unsur pengotor (Avner, 1974).

Baja karbon menurut kadar karbonnya terbagi menjadi tiga yaitu:

- Baja Karbon Menengah (0.3% - 0.7% C)

Baja karbon ini memiliki struktur mikro ferit dan perlit sehingga memiliki kekuatan yang lebih namun masih cukup ulet dan mudah dibentuk. Baja jenis ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas namun menjadi getas. Banyak digunakan untuk aplikasi konstruksi mesin, poros engkol, batang torak, rodagigi, pegas (Avner, 1974).

- Baja Karbon Tinggi (0.7%-2% C)

Baja karbon ini memiliki sifat yang keras sehingga tahan aus, dan kuat. Hal itu berdampak pada keuletan yang rendah sehingga materialnya relatif getas. Penggunaannya pun masih sangat luas dan biasanya untuk perkakas yang membutuhkan ketahanan aus, mata bor, gunting, kunci mur baut (Avner, 1974).

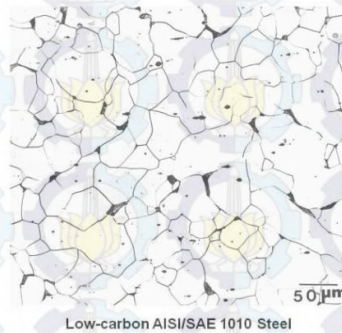
- Baja Karbon Rendah (0- 0.3% C)

Baja ini sangat luas pemakaiannya. Hal ini dikarenakan sifat mekaniknya. Kekuatan baja karbon rendah ini relatif rendah, lunak, tapi keuletannya tinggi sehingga mudah dibentuk dan dimachining. Aplikasinya pada mur, baut pipa, plat. Pada kelompok ini terdapat baja dengan kadar karbon yang sangat rendah (*ultra low carbon steel*). Baja ini digunakan untuk pembuatan baja lembaran, besi strip, *sheet*, dan *coil* (Avner, 1974).

*Low carbon steel* merupakan baja yang memiliki aplikasi yang luas. Karena sifatnya yang relatif lunak dan mudah dibentuk tentunya masih banyak kekurangan dari baja ini. Untuk mengatasi

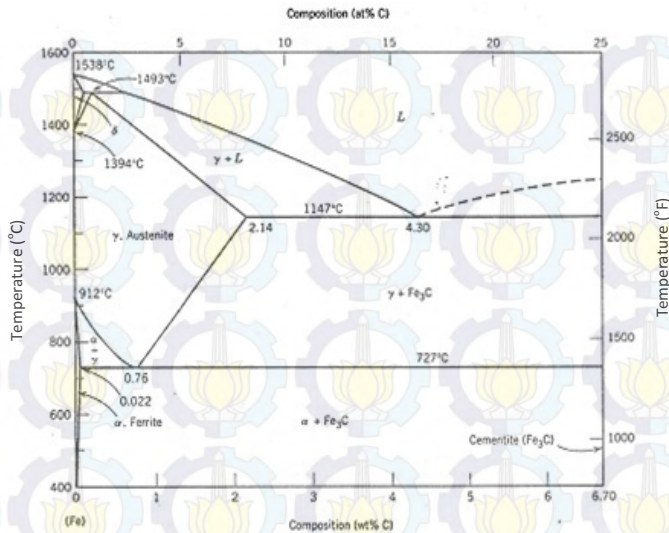


kekurangan yang ada pada penggunaan baja jenis ini, maka diberikanlah unsur paduan yang akan mengubah sifat mekanik baja karbon rendah. Penambahan elemen pembentuk karbida akan menambah kekuatan dari baja ini (Avner, 1974).



**Gambar 2.1** Struktur Mikro Baja Karbon Rendah AISI 1010 (Shah, 2009)

Diagram *equilibrium* Fe-Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram fasa dasar yang digunakan dalam menentukan fasa yang terbentuk pada paduan besi carbon. Hal ini tergantung pada kecepatan pendinginan yang dianggap *equilibrium* saat kecepatan pendinginan lambat. Transformasi diagram fasa akan terjadi dipengaruhi unsur paduan. Unsur paduan akan menggeser garis dan titik pada diagram fasa sesuai dengan fungsi unsur paduan. Nikel akan menstabilkan austenite pada temperature yang lebih rendah. Maka akan menggeser garis reaksi *eutectoid* ke bawah. Selain itu Nikel juga akan memperlebar daerah austenite sehingga titik *eutectoid* bergeser ke kanan (Avner, 1974).



**Gambar 2.2** Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (Avner, 1974)

## 2.2 Kromium (Cr)

Kromium adalah unsur dengan nomor atom 24 serta memiliki lambing Cr. Kromium merupakan salah satu unsur penting dalam pembuatan baja tahan karat. Tabel 2.1 menjelaskan beberapa sifat fisik kromium. Kromium membentuk lapisan oksida kromium yang melindungi baja jika dipadukan dengan kadar tidak kurang dari 10.5%Cr (Avner, 1974).

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Krom (Cr) (Callister, 1940)

Struktur Kristal	BCC
Massa Jenis	7.19 g/cm <sup>3</sup>
Massa Atom	51.99
Nomor Atom	24
Titik Lebur	1907°C
Kekerasan Vickers	1060 MPa

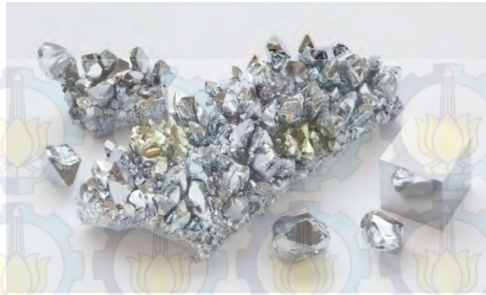
<i>Modulus Young</i>	279 GPa
<i>Shear Modulus</i>	115 GPa

Kromium adalah logam berwarna putih keperakan pertama kali ditemukan sekitar tahun 1761 . Kromium merupakan logam yang sangat keras, dengan kekerasan mencapai 9 skala mohs. Kromium juga tahan terhadap oksidasi, dan inert terhadap asam nitrat, namun larut dalam asam klorida dan asam sulfat. Pada temperature diatas 816°C krom akan mudah mengalami korosi batas butir. Kromium terdapat dalam bumi tidak berbentuk logam namun dalam bentuk senyawa. Kromium diekstraksi dari kromit yang diperoleh dengan reduksi dan elektrolisis. Kromium biasa dijual untuk digunakan sebagai paduan dengan besi dan tembaga (Brady G. S., 2002)

Baja kromium juga merupakan baja yang umum dijumpai dalam banyak aplikasi. Namun penamaan untuk baja krom biasanya dikelompokkan sesuai aplikasinya. Baja yang merupakan paduan kromium dan baja merupakan baja AISI 50XX, 51XX dan 61XX. Kromium dikombinasikan dengan baja karbon untuk meningkatkan kekerasan dengan membentuk kromium karbida atau *solid solution hardening*. Kromium Karbida merupakan karbida yang keras sehingga dapat meningkatkan kekerasan logam secara keseluruhan, sedangkan *Solid solution hardening* dapat meningkatkan kekerasan dengan menyusupnya atom krom dalam struktur kubik baja dengan cara substitusi. Menyusupnya atom krom menimbulkan dislokasi yang akan meningkatkan kekerasan baja paduan. (Brady G. S., 2002).

Kromium apabila dipadukan dengan baja akan bertindak sebagai penstabil ferrit. Hal ini terjadi karena fasa ferrit memiliki struktur kristal *Body Centre Cubic*. Karena Kromium memiliki struktur kristal yang sama, maka akan menstabilkan fasa ferrit dengan menaikkan temperatur A3, dan menurunkan temperatur A4 (Kopeliovich, 2013).





**Gambar 2.3** Kromium Murni (Outokumpu, 2013)

### 2.3 Nikel (Ni)

Nikel adalah unsur dengan dengan nomor atom 28 serta memiliki lambang Ni. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari nikel. Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari logam nikel. Nikel merupakan unsur yang termasuk dalam logam transisi, berbentuk padat (*solid*) saat temperatur kamar.

**Tabel 2.2** Sifat Fisik Nikel (Ni) (Callister, 1940)

Struktur Kristal	FCC
Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	8.90
Massa Atom	28
Nomor Atom	58.69
Titik Lebur	1455 °C
Kekerasan (Mohs)	4.0

**Tabel 2.3** Mechanical Properties Nikel (Callister, 1940)

<i>Tensile strength</i>	317 MPa
<i>Hardness</i>	64 HV, 35 HRB
<i>Modulus Young</i>	207 GPa
<i>Modulus of shear</i>	76 GPa



Nikel adalah logam berwarna perak pertama kali ditemukan sekitar tahun 1751 namun digunakan dalam paduan sejak jaman dahulu kala. Nikel memiliki ketahanan korosi pada atmosfer yang tinggi. Nikel juga tahan pada sebagian besar asam. Bahkan nikel tahan terhadap serangan asam yang mengoksidasi nikel seperti asam nitrit. *Ore* nikel merupakan nikel sulfida dan oksida nikel. Nikel dihunakan dalam beberapa pembuatan paduan yang populer. Nikel digunakan dalam *stainless steel*, *alloy steel*, dan logam *non-ferrous* (Brady G. S., 2002).



**Gambar 2.1** Nikel Murni (Outokumpu,2013)

Nikel adalah logam yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan tahan terhadap serangan asam. Nikel banyak digunakan pada pepaduan *stainless steel*, baja nikel dan logam *non-ferrous* serta *electroplating*. Nikel dikomersilkan dengan berbagai bentuk, yaitu ferronikel dan nikel 99%. Nikel juga digunakan pada material elektronik, material *aerospace*, *chemical processing equipment*, dan *food processing equipment*. Nikel pada material elektronik digunakan sebagai anoda, katoda dan *current collector* (Schwartz, 2002).

Nikel-cadmium dan nikel-metalhidrida adalah material baterai. Selanjutnya nikel merupakan kandidat elemen yang akan digunakan sebagai *electric powdered vechicles*, hal ini karena nikel memiliki densitas energi dua kali lebih banyak disbanding asam timbal. Baterai nikel juga dapat mengisi 60% energi dengan waktu

*recharge* hanya 15 menit. Nikel juga merupakan material umum yang digunakan sebagai *coating materials*. Biasanya diaplikasikan pada material logam lainnya dan sebagian plastic. Pada pengaplikasiannya, digunakan dengan cara *electroplating* (Brady G. S., 2002).

Nikel adalah unsur penstabil yang kuat. Paduan nikel dan kromium digunakan dalam paduan stainless steel tipe 300. Stainless steel ini merupakan *stainless steel* austenitik yang non-magnetik. Nikel pada paduan ini berperan sebagai penahan korosi namun fungsi utamanya adalah pembentuk dan penstabil austenit (Schwartz, 2002).

## **2.4 Pengaruh Unsur Paduan**

Material baja dapat dipadukan dengan material logam lainnya sehingga membentuk logam paduan. Paduan logam tersebut memiliki beberapa fungsi seperti pembentuk penstabil ferrit. Unsur paduan penstabil ferrit merupakan unsur yang membuat ferrit bisa bertahan stabil pada temperature yang lebih tinggi. Hal ini terjadi akibat ferrit akan berubah fasa menjadi austenite pada temperature tertentu. Dalam jumlah banyak dapat menjadikan ferrit tetap stabil pada temperatur leleh. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, Si, Mo, W, Al (Avner, 1974).

Fungsi paduan logam lainnya adalah pembentuk penstabil austenite. Unsur pada kelompok ini akan membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperature rendah. Austenit yang biasanya bertransformasi jika di dinginkan akan menjadi stabil pada tempratur yang lebih rendah bahkan temperatur kamar. Unsur yang termasuk jenis ini adalah Mn dan Ni (Avner, 1974).

Unsur paduan dapat berfungsi sebagai pembentuk karbida. Jika pada ferrit dan austenit memiliki unsur yang dapat membentuk sekaligus menstabilkan, pada karbida berbeda. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr. Jika pada paduan baja ada beberapa unsur yang termasuk dalam pembentuk karbida, tidak semuanya bisa membentuk karbida.

Biasanya hanya unsur yang affinitas elektronnya tinggi yang terbentuk karbida (Avner, 1974).

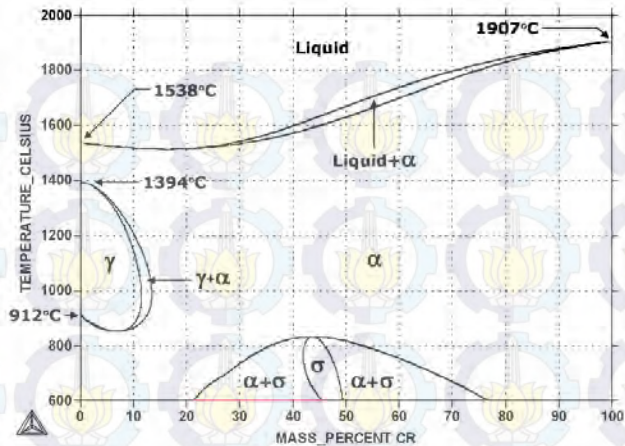
Fungsi unsur paduan juga sebagai penstabil karbida. Penstabil karbida merupakan unsur yang membuat karbida tidak larut dan terurai pada suatu fasa. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti dan Nb. Disini dapat terlihat tidak semua pembentuk karbida kuat merupakan penstabil karbida yang kuat juga (Avner, 1974).

Fungsi lainnya adalah sebagai pembentuk nitride. Pada dasarnya unsur dalam jenis ini adalah mayoritas unsur pembentuk karbida. Unsur pembentuk nitrida akan membentuk nitrida jika baja dilakukan nitriding. Nitrida adalah senyawa yang keras sehingga adanya nitrida akan menambah kekerasan pada baja (Avner, 1974).

## **2.5 Diagram Equilibrium Paduan Fe-Cr-Ni**

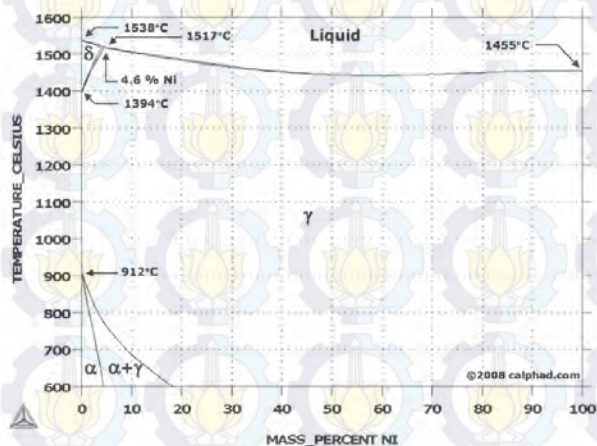
Penambahan krom dalam baja, akan merubah struktur mikro, dan fasa yang terjadi dalam paduan. Untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi dapat dilihat dari diagram fasa Fe-Cr pada Gambar 2.3.





**Gambar 2.4** Diagram Fasa Fe-Cr (Avner, 1974)

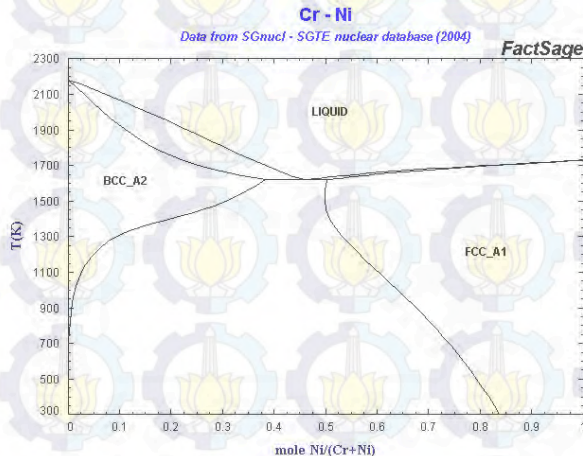
Penambahan nikel dalam baja, akan merubah struktur mikro, dan fasa yang terjadi dalam paduan. Untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi dapat dilihat dari diagram fasa Fe-Ni pada Gambar 2.4



**Gambar 2.5** Diagram Fasa Fe-ni (Calphad, 2008)

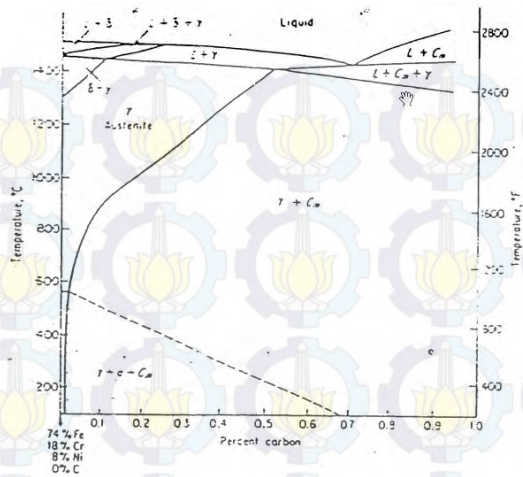


Penambahan krom dalam nikel, akan merubah struktur mikro, dan fasa yang terjadi dalam paduan. Untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi dapat dilihat dari diagram fasa Cr-Ni pada Gambar 2.5.



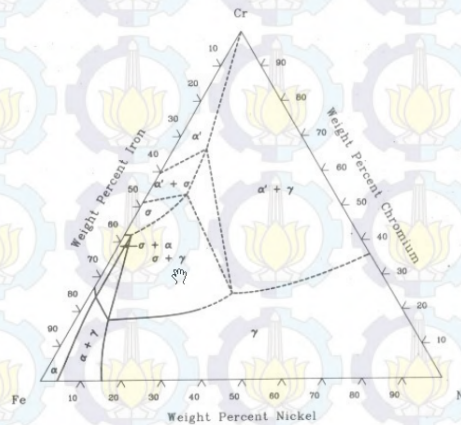
**Gambar 2.6** Diagram Fasa Cr-Ni (SGTE Nuclear Database, 2006)

Krom dan nikel yang ditambahkan dalam paduan baja akan merubah sifat mekanik, serta struktur mikro paduan. Penambahan nikel dan krom pada baja akan menimbulkan banyak perubahan pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C. Untuk lebih memahami perubahan yang terjadi akibat ditambahkan krom dan nikel, maka dapat dilihat dari diagram fasa Fe-Cr-Ni. Berikut ini adalah diagram fasa penambahan 18%Cr dan 8%Ni, dan diagram fasa ternary Fe-Cr-Ni. (Avner, 1974). Penambahan nikel hingga 8%wt akan menjadikan daerah austenite luas hingga temperature kamar. Selain itu pada diagram ternary Fe-Cr-Ni dapat dilihat bahwa austenite yang terbentuk akan berupa  $\gamma$ FeNi. Nikel akan saling melarutkan dengan Fe berfasa austenite.



**Gambar 2.7** Diagram Fasa Fe-18Cr-8Ni (Avner, 1974)

Cr-Fe-Ni isothermal section at 650 °C [88Ray]



Note:  $\alpha = (\alpha_{Fe,Cr})$ ;  $\gamma = (\gamma_{Fe,Ni})$

**Gambar 2.8** Ternary Diagram Fasa Fe-Cr-Ni (ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram, 1992)

## 2.6 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

*Stainless steel* digunakan untuk tujuan ketahanan korosi dan ketahanan termal sehingga dikembangkan dengan berbagai macam cara (Bahdesia, 2006). Hal ini akan membuat banyak jenis *stainless steel* yang harus diidentifikasi keunikannya. Dilandasi oleh hal tersebut maka disusun tiga nomor system penamaan untuk mengidentifikasi *stainless steel*. Dua nomor terakhir tidak mengandung arti apapun. Namun angka pertama menunjukkan kelompok *stainless steel* tersebut (Avner, 1974).

**Tabel 2.4** Penamaan *Stainless Steel* (Avner, 1974)

Seri	Kelompok
2xx	Chromium-Nickel-Manganese; non-hardenable, austenitic, non-magnetic
3xx	Chromium-Nickel; non-hardenable, austenitic, non-magnetic
4xx	Chromium; Hardenable, martensitic, magnetic
5xx	Chromium; Low Chromium, heat resisting

*Stainless steel* dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tipe struktur mikro pada temperatur ruangan yang terbentuk. Hal tersebut akan memengaruhi sifat mekanik, sifat fisik, struktur mikro hingga penggunaan *stainless steel*. *Stainless steel* terbagi menjadi lima kelompok (Avner, 1974).

Pada penggunaannya, *stainless steel* banyak digunakan sebagai bahan baku sendok. Sendok menggunakan bahan *stainless steel* dengan komposisi 18% kromium, dan 8% nikel, biasa juga dinamakan *stainless steel* 304. Tabel 2.5 menunjukkan komposisi akhir pada paduan *stainless steel* 304. Sedangkan Tabel 2.6 menunjukkan sifat mekanikal dari paduan *stainless steel* seri 304. (Harvey, 1982)



**Tabel 2.5** Komposisi *Stainless Steel* Seri 304 (Outokumpu,2013)

Komposisi	Type 304 (%)
Karbon	0.08 max
Mangan	2.00 max
Fosfor	0.045 max
Sulfur	0.030 max
Silikon	0.75 max
Krom	18.00-20.00
Nikel	8.00-12.00
Nitrogen	0.10 max

**Tabel 2.6** Sifat Mekanik *Stainless Steel* Seri 304 (Outokumpu,2013)

Sifat Mekanik	Type 304
Hardness (Rockwell B)	70
Tensile Strength, Ultimate	505 Mpa
Tensile Strength, Yield	215 Mpa
Elongation at Break	70%
Modulus of Elasticity	193-200 Gpa
Poisson's Ratio	0.29
Shear Modulus	86 GPa

### **2.6.1 Pengaruh Unsur Paduan pada *Stainless steel***

Untuk menambah sifat mekanik dari *Stainless Steel*, maka perlu ditambahkan unsur paduan lainnya. Pengaruh unsur paduan pada *stainless steel* merupakan beberapa unsur paduan yang biasa ditambahkan pada *stainless steel* untuk tujuan tertentu. Berikut adalah beberapa unsur yang biasa ditambahkan ke dalam *stainless steel* :



- Kromium (Cr)

Kromium merupakan elemen penting dalam pembentukan *stainless steel*. Baja dapat dikatakan menjadi *stainless steel* jika mengandung Cr minimal 10.5%. Selain penambahan ketahanan korosi, kromium meningkatkan kekerasan serta ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi serta membentuk struktur mikro ferrite.

- Nikel (Ni)

Alasan penambahan nikel pada *stainless steel* adalah untuk menstabilkan austenite agar menambah keuletan dan ketangguhan. nikel juga akan menjadikan ketahanan korosi yang lebih tinggi terhadap lingkungan asam. Pada *precipitation hardening stainless steel* nikel berfungsi sebagai penambah kekuatan serta memperbaiki weldability.

- Molybdenum (Mo)

Molybdenum pada dasarnya ditambahkan untuk menambah ketahanan korosi. Pada *stainless steel* Mo juga sedikit menambah kekuatan.

- Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur yang menjaga keuletan saat temperature tinggi pada *stainless steel*. Mangan juga digunakan untuk menggantikan nikel yang secara ekonomis lebih mahal.

- Silicon (Si)

Silikon adalah elemen paduan pada *stainless steel* yang berfungsi untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperature tinggi.

- Carbon (C)

Carbon merupakan salah satu pembentuk austenite kuat sehingga secara signifikan menaikkan kekuatan. Namun karbon juga mereduksi ketahanan untuk mengatasi intergranular korosi.

- Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan pembentuk austenite kuat yang juga menaikkan kekuatan. Nitrogen adalah solusi elemen yang

ditambahkan karena *stainless steel* tidak bisa ditambahkan banyak karbon akibat presipitasi karbida.

- Niobium (Nb)

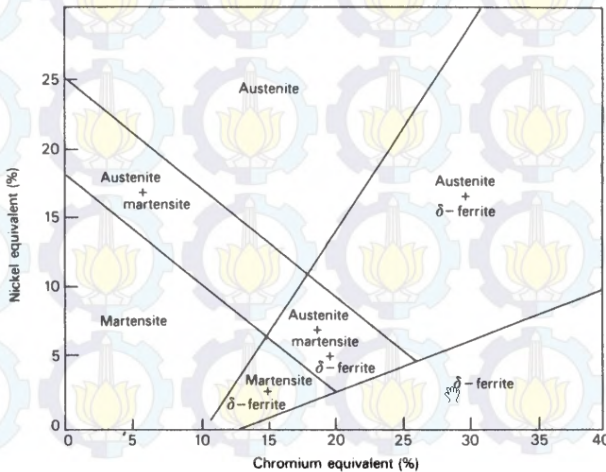
Merupakan unsur penstabil ferrite. Penambahan Nb pada *stainless steel* akan menaikkan sifat mekanik pada temperature tinggi.

- Sulphur (S)

Sulfur merupakan paduan yang memperbaiki machineability. Dalam jumlah yang tinggi sulfur akan mengurangi ketahanan korosi

## 2.6.2 Schaeffler Diagram

Schaeffler Diagram digunakan untuk memperkirakan fasa akhir yang akan didapatkan dalam paduan. Selain itu, Schaeffler diagram juga dapat mengetahui efek dari proporsi dua elemen krom ekivalen dan nikel ekivalen. Pengaruh paduan terhadap mikrostruktur dapat dilihat pada diagram Schaeffler Gambar 2.5 yang menunjukkan fasa *stainless steel* terhadap komposisi paduan. Analisa diagram dilakukan dengan menghitung komposisi paduan dengan persamaan 2.1 (Outokompu Oyj, 2013)



**Gambar 2.5** Schaeffler Diagram (Bahdesia, 2006)

$$\text{Nikel equivalen} = \% \text{Ni} + 0.5 \% \text{Mn} + 30 (\% \text{C} + \% \text{N}) \quad (2.1)$$

$$\text{Kromium equiuvalen} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \% \text{Si} + 0.5 \% \text{Nb} \quad (2.2)$$

## 2.7 Electric Arc Furnace

Temperatur tertinggi yang dapat dicapai oleh tungku api untuk keperluan teknik berkisar diantara 1700°C sampai 1800°C. Di dalam laboratorium, tungku jenis ini biasanya tidak dapat melebihi 1500 °C sampai 1600 °C. Dengan kondisi tersebut, riset menjadi sulit, dan eksperimen mencapai limit untuk meleburkan keramik dan porcelain. Dalam riset Henry Moissan, beliau ingin meleburkan logam dengan temperature diatas 2000°C, dan lalu beliau mencoba dengan tungku busur elektrik

Secara teori, masalah yang ingin diselesaikan sangat sederhana. Masalah ini dapat diselesaikan dengan menaruh busur listrik yang sangat kuat dalam rongga yang sangat kecil, dan pada jarak yang ditentukan pada material yang ingin dilebur. Pada pertama kali tungku dibuat dari quicklime, dan dibuat bentukan untuk tempat meleburnya material.

Busur listrik merupakan plasma gas yang terionisasi yang menghasilkan listrik. Beberapa proses industri ini didasarkan atas prinsip meleburkan baja, dan las busur yang sering digunakan. Di masa lalu busur listrik ini digunakan untuk penerangan juga, terutama untuk lampu sorot dan bioskop. Dalam percobaan ini, perpindahan panas terjadi terutama dengan meniup plasma pada logam yang akan meleleh. Warna api yang dihasilkan akan berbeda tergantung media yang dipanaskan. Untuk mencairkan besi (atau pengelasan) akan menghasilkan warna biru. Busur listrik itu sendiri dapat mencapai suhu mencapai 3500°C, dan dalam ruangan tertutup dari batuan api, suhu yang dekat dengan busur dapat mencapai 3000°C. Kelebihan dari electric arc furnace adalah suhu yang dihasilkan sangat tinggi dan dicapai dengan cepat. Namun jumlah yang akan meleleh sangat kecil (sekitar 20 gram besi di 150A). Namun dibandingkan dengan tungku bakar, efisiensi energi oleh electric arc furnace luar biasa efisien (Moissan, 1904).

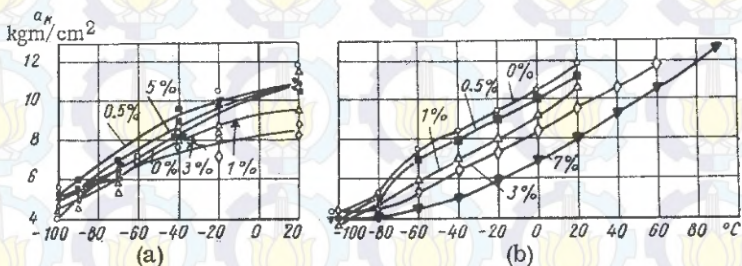


## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Gulyayev (1984) melakukan penelitian tentang pengaruh kromium dan nikel terhadap ketangguhan dari baja dengan kandungan karbon 0.03%C. Pada table terlihat dari temperature transisi getas sangat dipengaruhi, bukan karena pemaduan, tapi karena butiran ferrit.

Content of alloying element in %	Cooling	HRB	Ferrite grain size in points
—	In water . . . . .	61	5
Alloys containing chromium			
0.5	With a fan . . . . .	46	5—6
1	In still air . . . . .	44	5
3	At a rate of 50 deg/hr . . . . .	42	5
5	At a rate of 20 deg/hr . . . . .	42	6
7	At a rate of 20 deg/hr . . . . .	48	7
Alloys containing nickel			
0.5	In still air . . . . .	52	5
1	At a rate of 50 deg/hr . . . . .	51	5
3	At a rate of 20 deg/hr . . . . .	65	5
5	At a rate of 20 deg/hr . . . . .	74	6

**Gambar 2.9** Pendinginan *quenching* pada paduan bebas karbon (Gulyayev,1984)



**Gambar 2.10** Pengaruh temperature terhadap ketangguhan a) Nikel , b) Kromium (Gulyayev,1984)



Transisi ke fasa kaku dari paduan bebas karbon terjadi pada temperature tertentu, dan berlangsung secara tiba-tiba pada temperature 80-100°C. Ketika banyaknya krom dalam paduan meningkat dari 1 menjadi 7%, kekerasannya hampir sama, namun temperature perubahan ke fasa kaku meningkat dari -70 ke -40. Ini membuktikan bahwa kromium meningkatkan *brittle transition temperature* dari ferit. Nikel sendiri menurunkan *brittle transition temperature*, meskipun kekerasan dari ferit meningkat dengan bertambahnya nikel dalam paduan baja. Dalam baja dengan kandungan karbon 0.4% C, kromium meningkatkan temperature transisi, namun nikel menurunkannya. (Gulyayev, 1984)

## 2.9 Pengecoran

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Proses ini membutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. Pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. (Sudjana, 2008).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga-rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, asesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak

bidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Sudjana, 2008).

### **2.9.1 Pola**

Dalam pembuatan coran, pasti diperlukan hasil akhir yang diinginkan. Untuk mendapatkan hasil akhir yang diinginkan maka perlu dibentuknya pola. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan pada benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi (Chijjiwa, 2006).

Bahan dari pola logam bisa bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh, logam tahan panas seperti: besi cor, baja cor, dan paduan tembaga adalah cocok untuk pola pada pembuatan cetakan kulit, sedangkan paduan ringan, adalah mudah diolah dan dipilih untuk pola yang dipergunakan dalam masa produksi dimana pembuatan cetakan dilakukan dengan tangan (Chijjiwa, 2006).

Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir (Chijjiwa, 2006).

### **2.9.2 Cetakan**

Cetakan dalam proses pengecoran digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. Bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. Bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "Moulding Material". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada

saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua , cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari Logam *Ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori, plaster, resin, lilin.

Sebagian cetakan menggunakan pasir refraktori karena lebih murah dibanding cetakan permanen yang lebih mahal (Banga, 1981).

Sifat Pasir cetakan yang dibutuhkan adalah:

1. Permeabilitas

Logam cair selalu mengandung sejumlah gas yang larut, yang berubah saat logam memadat. Selain itu saat logam cair bersentuhan dengan cetakan akan tercipta uap air. Jika gas dan uap air tersebut tidak dapat keluar dari cetakan maka akan terbentuk lubang gas dan pori pada coran. Karena itu pasirnya harus cukup berpori agar dapat dilewati oleh gas dan uap air saat logam cair dituang. Pasir yang kasar atau mempunyai butir yang bulat mempunyai permeabilitas yang lebih baik. *Ramming* dan penambahan tanah liat akan menaikkan permeabilitas. Permeabilitas yang tidak memadai akan menyebabkan cacat seperti *surface blows*, *gasholes*, *mould blasting*, dan lain-lain.

2. Plastisitas atau Mampu Alir

Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.

3. Adhesivitas

Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.

4. Kohesivitas

Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya



pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.

5. Sifat Refraktori

Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C. Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.

6. Ketahanan Kimiawi

Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.

7. Mampu Hancur

Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.

8. Kehalusan

Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.

9. Koefisien Pemuai Rendah.

Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuai yang rendah.

10. *Bench Life*

Adalah kemampuan pasir cetak untuk mempertahankan sifatnya selama penyimpanan, penanganan, penggunaan, contohnya pada saat delay.



### 2.9.3 Cetakan Pasir

Cetakan pasir merupakan cetakan yang paling banyak, dan umum digunakan di industri. Hal ini terjadi karena cetakan pasir relatif lebih murah dibandingkan cetakan lain. Namun, cetakan pasir dibentuk oleh pasir yang memiliki sifat tertentu. Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Chijjiwa, 2006)

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.
2. Permeabilitas yang cocok. Dikuatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga diantara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
3. Distribusi besar butir yang cocok. permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat yang disebut diatas.
4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam tabel dibawah

**Tabel 2.10** Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran  
(Chijjiwa, 2006)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan Ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja Cor	1.500 – 1.550

Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang ke dalam cetakan.

5. komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
6. Mampu pakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.

#### **2.9.4 Defect dalam Proses Pengecoran**

Dalam proses pengecoran, hasil yang didapatkan tidak selalu sempurna. Hal itu disebabkan oleh beberapa factor seperti parameter pengecoran, material yang dilebur, dll. Oleh karena itu, perlu dipelajari defect yang terjadi pada saat proses pengecoran. Adapun untuk *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu;

1. Shrinkage  
Penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan.
2. Coldshut  
Rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*.
3. Inklusi keramik  
Rongga akibat adanya keramik yang rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan

Selain terdapat defect, proses pengecoran juga perlu tahapan finishing untuk menghilangkan beberapa bagian yang tidak diinginkan seperti parting line, *gating system*, dll. Oleh karena itu

perlu diketahui proses finishing yang umum yang terdapat dalam proses pengecoran.

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses finishing, yaitu ;

1. Casting knock out

Pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin knocking atau biasa disebut dengan knocker.

2. Cut Off casting

Pemisahan produk dari *gating system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap

3. Pembersihan

Ada 3 (tiga metode) ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan abrasif dengan mesin Hook Shot Blasting. Pada proses pembersihan dengan Hook Shot Blasting, produk ditembak dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau pickling, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF, 17% HNO<sub>3</sub>. Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air.

4. Grinding

Proses grinding ini bertujuan untuk meratakan permukaan hasil coran.

5. Pressing

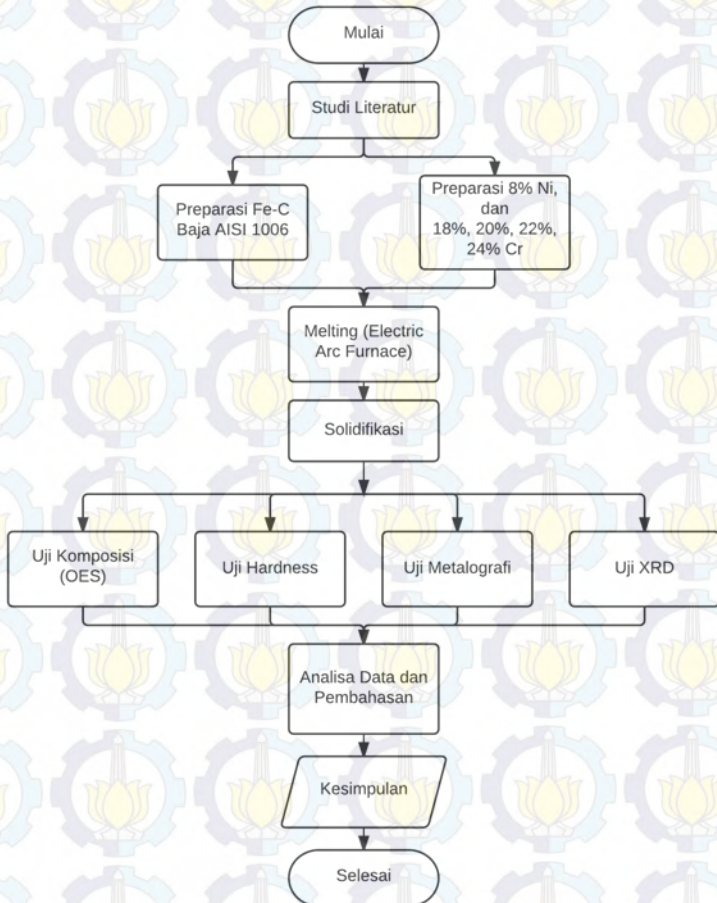
Proses ini untuk mempresisikan produk hasil coran





## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Percobaan

Studi ini memiliki beberapa tahapan. Gambar 3.1 menampilkan diagram alir penelitian. Studi dimulai dengan studi literatur paduan Fe-Cr-Ni dari beberapa jurnal. Setelah itu dilakukan preparasi Fe-C sebagai logam dasar, 8% Ni, dan 18%, 20%, 22%, 24% Cr sebagai variabel dalam penelitian ini. Bahan yang telah dipreparasi dilebur menggunakan electric arc furnace. Paduan dibiarkan solidifikasi dengan sempurna, lalu diuji komposisi (OES), hardness, metalografi, X-Ray Diffraction (XRD), dan EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*). Data dari hasil pengujian dianalisa lalu dibuat kesimpulan.

### 3.2 Metode Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan preparasi sampel dengan cara menghitung massa setiap material yang akan dilebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Setelah proses penghitungan massa material yang akan dilebur. Material tersebut dimasukkan ke dalam krusibel, lalu dilebur menggunakan electric arc furnace. Metode pembuatan spesimen uji dilakukan dengan mengecornya ke dalam cetakan yang telah dibuat untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan. Untuk perhitungan massa material lebur, digunakan Persamaan 3.1.

$$\text{Massa Material} = \frac{\% \text{ Target Unsur}}{\% \text{ Rasio kadar unsur pada bahan}} \times \text{Massa total} \quad (3.1)$$

Hasil peleburan paduan tersebut akan di uji dengan menggunakan beberapa metode pengujian untuk menganalisis pengaruh kromium pada paduan tersebut, Analisis yang dilakukan adalah analisis komposisi kimia menggunakan pengujian OES, analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik, dan analisa kekerasan dilakukan dengan *universal hardness testing machine Wilson Instrument* lalu dibandingkan dengan rentang kekerasan sesuai standar material hasil coran.

### 3.3 Material

Material awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja karbon rendah (Fe-C), Kromium (Cr), Nikel (Ni), Mangan (Mn), dan bahan etsa ASTM E407. Baja karbon rendah diperoleh dari scrap metal berbentuk plat dengan tebal 8 mm. Baja dipilih sebagai logam dasar dalam paduan ini karena dalam paduan ini mengandung sedikitnya 70% Fe. Selain itu kandungan karbon yang rendah pada baja dipilih untuk mentiadakan proses *carbon decarburization*. Baja karbon rendah ini didapatkan dari laboratorium metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. *Ferrochrome* dengan kemurnian kromium 69% yang digunakan sebagai material awal didapatkan dari PT. Stainless Steel Indonesia dan sesuai standar ASTM A101. Nikel yang digunakan sebagai material awal juga menggunakan nikel dengan kemurnian 99.9% dari PT. Stainless Steel Indonesia dan sesuai standar ASTM 162. Untuk menganalisa struktur mikro hasil paduan, maka diperlukan cairan etsa. Dalam penelitian ini menggunakan bahan etsa ASTM E407 yang merupakan campuran dari HCl, HNO<sub>3</sub>, dan glycerol. Cairan etsa didapatkan dari PT. Bratachem.

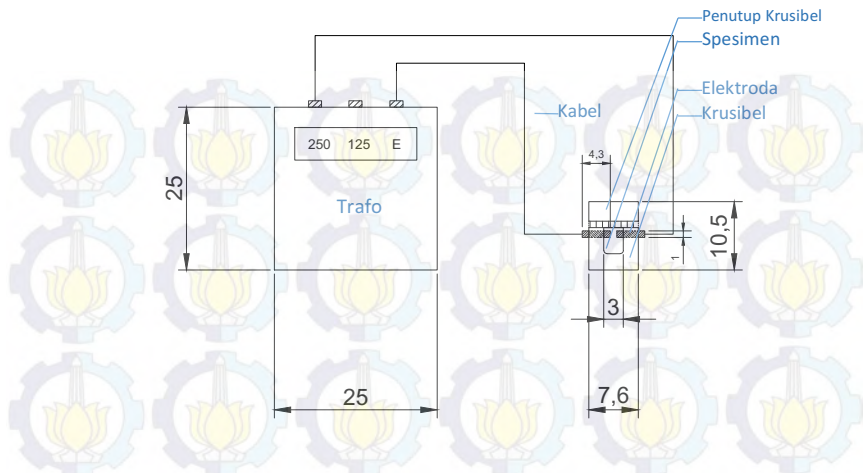
### 3.4 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah electric arc furnace, krusibel, gergaji, gelas ukur 250 ml, beaker glass, timbangan, stirrer, kertas amplas, gergaji mesin, alat uji kekerasan universal, *Optical Emission Spectroscopy*, XRD, mesin grinding & polishing, dan mikroskop metalurgi. Electric arc furnace yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas output maximum sebesar 150A. Furnace ini digunakan untuk meleburkan material awal yang akan dijadikan paduan. Furnace ini merupakan buatan sendiri, dengan menggunakan trafo. Electric arc furnace yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2. Karbon yang didapatkan dari baterai jenis A digunakan sebagai elektroda dalam pengoperasian Electric Arc Furnace. Karbon yang digunakan memiliki diameter 1.6 cm. Sebagai wadah untuk meleburkan



material paduan, digunakan krusibel berbahan *refractory*. Bahan *refractory* dipilih karena pada studi sebelumnya yang menggunakan bahan grafit mengakibatkan meningkatnya kandungan karbon dalam paduan. Ukuran krusibel yang digunakan sebesar 50 gram. Untuk memotong bahan serta hasil paduan coran, diperlukan gergaji, dan gergaji mesin. Gergaji dan gergaji mesin yang digunakan dalam penelitian ini bermerk krisbow. Gelas ukur dengan kapasitas 250 ml digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa. Sedangkan sebagai wadah untuk mencampur bahan etsa digunakan beaker glass. Untuk mengukur massa material awal yang akan dilebur digunakan timbangan electric dengan ketelitian hingga 0.01 gram. Kertas amplas dengan *grade* 80 hingga 2000 digunakan untuk *grinding* specimen pada uji metalografi. Pada penelitian ini menggunakan kertas amplas bermerk nikken. Untuk mempermudah *grinding* dan *polishing* dalam uji metalografi, pada penelitian ini juga menggunakan mesin *grinding* dan *polishing* buatan jurusan teknik material dan metalurgi. Untuk mengamati struktur mikro yang terdapat pada material paduan, maka penelitian ini juga menggunakan mikroskop metalurgi ber merk Olympus dengan perbesaran hingga 500x. Untuk mengetahui kekerasan pada hasil paduan, penelitian ini menggunakan mesin *Universal Hardness Tester Wilson Instrument* yang terdapat dalam jurusan teknik material dan metalurgi. Sedangkan untuk mengetahui komposisi paduan, digunakan alat Optical Emission Spectroscopy bermerk Spectrolab yang terdapat pada PT. Cast Metals Indonesia. Alat uji X-Ray Diffraction digunakan pada spesimen ini untuk mengetahui sistem kristal, struktur Kristal, dan fasa-fasa yang terdapat dalam paduan. Mesin XRD yang digunakan bermerk PAN Analytical yang terdapat pada jurusan teknik material dan metalurgi.





**Gambar 3.2** Dimensi Tampak Depan Electric Arc Furnace

### 3.5 Prosedur Percobaan

Preparasi specimen dilakukan dengan menyiapkan bahan berupa baja karbon rendah (Fe-C), kromium, dan nikel. Kromium ditambahkan dengan presentase berat 18, 20, 22, dan 24 %. Baja karbon rendah, kromium, dan nikel ditimbang sesuai perhitungan komposisi *material balance*. Kemudian, material yang telah ditimbang dimasukkan kedalam krusibel dengan metode sandwich. Langkah selanjutnya adalah melebur material tersebut dengan electric arc furnace. Setelah paduan telah melebur sempurna, paduan tersebut akan dituang ke dalam cetakan pasir lalu ditunggu hingga dingin. Benda coran dikeluarkan dari krusibel kemudian dilakukan proses pengujian untuk menganalisa hasil paduan.

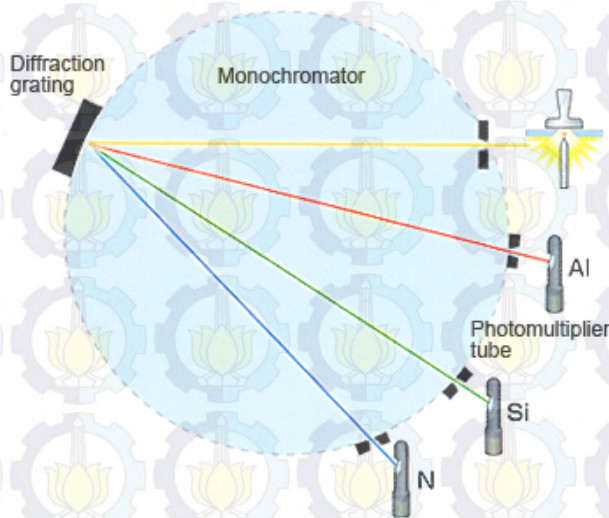
### 3.6 Proses Pengujian

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi oleh OES, Pengujian metalografi untuk melihat

strukturmikro. Hardness test untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

### 3.6.1 Pengujian OES

Pengujian OES, *Optical Emission Spectroscopy*, adalah pengujian yang melibatkan dan menerapkan energy listrik dalam bentuk percikan yang dihasilkan antara elektroda dan sampel logam, dimana atom menguap dibawa ke keadaan energy tinggi yang disebut *discharge plasma*. Atom-atom yang tereksitasi dan discharge plasma membuat spectrum emisi yang unik dan khusus untuk setiap elemen, seperti yang ditunjukkan di Gambar 3.4. Dengan demikian satu elemen menghasilkan banyak emisi karakteristik garis spectrum.



**Gambar 3.3** Prinsip kerja OES (Shimadzu,2000)

Oleh karena itu, cahaya yang dihasilkan oleh pancaran electron dapat dikatakan koleksi dari garis spectrum yang dihasilkan oleh unsur-unsur dalam sampel. Cahaya ini dibagi oleh

kisi difraksi untuk mendapatkan spectrum emisi dari target sampel. Intensitas dari setiap spectrum emisi bergantung pada konsentrasi elemen di dalam sampel. Detektor menghitung seberapa banyak spectrum yang didapatkan dari setiap elemen dan intensitas dari setiap spectrum untuk melakukan analisis kualitatif dan kuantitatif elemen.

Untuk mengetahui komposisi yang tepat pada penelitian ini maka perlu diuji OES. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di PT. Cast Metals Indonesia bermerk Spectrolab dengan standar database stainless steel. Pengujian dilakukan dua kali penembakan.

### **3.6.2 Pengujian Metalografi**

Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Pada penelitian ini perbesaran yang digunakan yaitu 5-50 kali perbesaran lensa objektif..

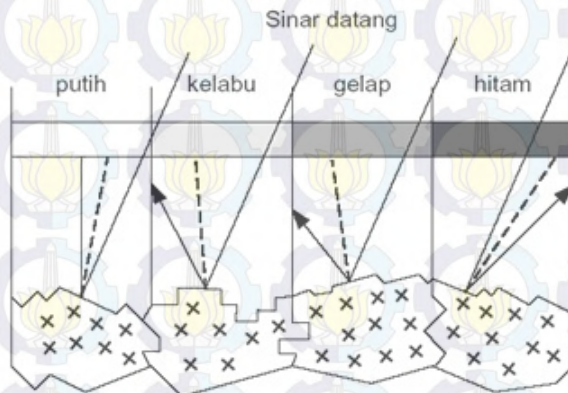
Penyelidikan mikrostruktur tersebut berkisar antara  $10^{-6}$  cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga  $10^{-2}$  cm batas atas kemampuan mata manusia). Meskipun daerah lingkup pengamatan metalografi ini mencakup suatu daerah yang luas ( $10^{-6}$  -  $10^{-2}$  cm) namun demikian obyek pengamatan yang biasanya digunakan yaitu  $10^{-5}$  cm atau order pembesaran 5.000 – 30.000 kali untuk mikroskop elektron dan  $10^{-3}$  cm atau order pembesaran 100 – 1000 kali untuk mikroskop optis.

Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (polish) kemudian di etsa dengan larutan kimia, maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan.



Struktur mikro yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena pantulan.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikronya. Adapaun larutan etsa yang digunakan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan gliseregia, nital dan pikral.



**Gambar 3.4** Alur Pantul Sinar Pada Metalografi (\_\_, ASTM E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens, 1992)

### 3.6.3 Pegujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan Brinell mempunyai cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk material yang sangat lunak maupun material yang sangat keras.



Pengujian kekerasan brinell dilakukan menggunakan mesin bermerk *Wilson Instrument* dan dilakukan sesuai dengan standar ASTM E10. Diameter indenter yang digunakan sebesar 1 mm. Dengan pembebanan sebesar 30 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan diameter indentasi yang kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 3.2.

$$BHN = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.2)$$

Dengan P adalah pembebanan dalam satuan kgf,  $\pi$  adalah tetapan yakni sebesar 3,14. D adalah diameter indenter dalam satuan mm, dan d adalah diameter indentasi dalam satuan mm.

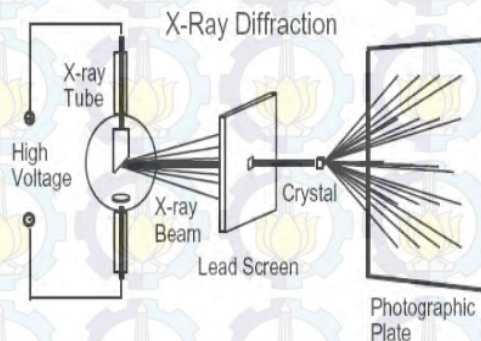
### 3.6.4 Pengujian XRD

XRD (X-ray Diffractometer) merupakan salah satu alat pengujian material yang biasanya digunakan untuk identifikasi unsur atau senyawa (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi (analisis kuantitatif). Analisis yang dilakukan berhubungan dengan alat ukur yang lain misalnya SEM ataupun TEM. Pengamatan dengan mikroskop akan menjelaskan bagaimana distribusi fasa yang teridentifikasi berdasarkan hasil XRD.

Pengujian XRD memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada Gambar 3.6 . Generator tegangan tinggi berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian x-ray tube. Sampel berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang dapat diatur posisinya. Lalu berkas sinar-X ditembak ke sampel dan didifraksikan oleh sampel, masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detector dan diterjemahkan dalam bentuk kurva.

Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Fe-xCr-8Ni yang sudah terbentuk selama proses melting . Adapun kemungkinan fasa yang akan muncul adalah Austenit Fe-xCr-8Ni

hal ini karena pengaruh jumlah nikel. Dalam penelitian ini, digunakan software match! untuk mengetahui dan menganalisa *peak* hasil XRD.



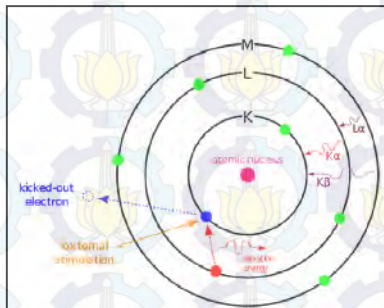
**Gambar 3.5** Skema Kerja XRD (*D. M. Moore and R. C. Reynolds, 1997*)

Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS menggunakan mesin PAN Analytical XRD. Filamen yang digunakan adalah tembaga (Cu) dengan arus 30mA, dan voltase 40kV.

### 3.6.4 Pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis

unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya. Pengujian EDX dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS menggunakan mesin EDAX TSL.



**Gambar 3.6** Skema Kerja EDX

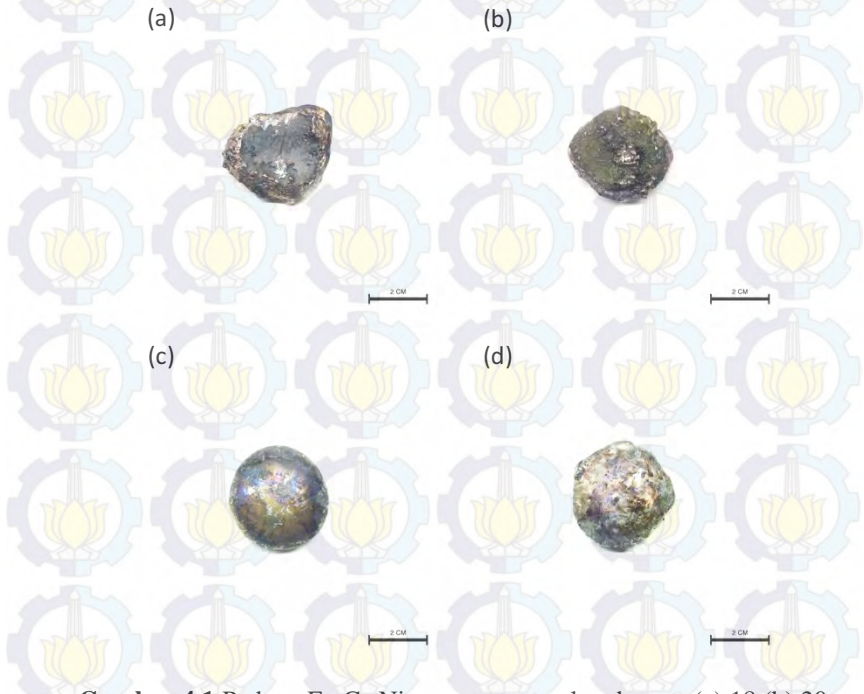




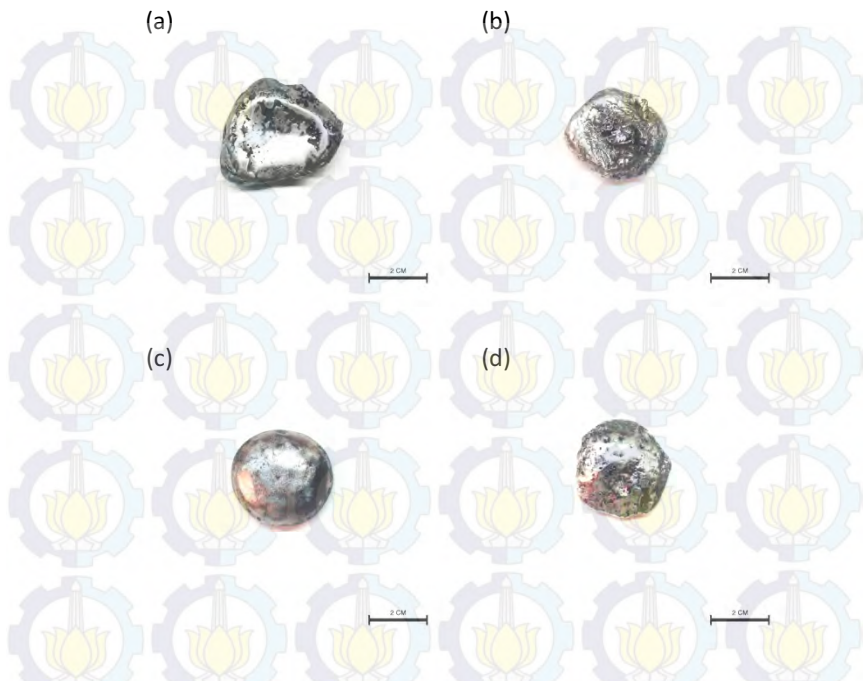
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Makro Paduan Fe-Cr-Ni

Analisa makro dilakukan dengan mengambil foto hasil paduan untuk mengetahui bentuk fisik setelah dipadukan. Paduan Fe-Cr-Ni yang dihasilkan berbentuk bulat, dan terdapat slag pada permukaan hasil coran. Gambar 4.1 menampilkan foto makro hasil coran. Pengamatan gambar menunjukkan bahwa tidak terjadi segregasi pada spesimen sehingga ini membuktikan bahwa paduan Fe-Cr-Ni telah tercampur dengan sempurna.



**Gambar 4.1** Paduan Fe-Cr-Ni yang tertutup slag dengan (a) 18 (b) 20  
(c) 22 (d) 24 %wt Cr



**Gambar 4.2** Paduan Fe-Cr-Ni tanpa slag dengan (a) 18 (b) 20 (c) 22 (d) 24 % wt Cr

Paduan yang dihasilkan menghasilkan slag yang terbentuk pada permukaan paduan. Slag kemudian dibersihkan dengan cara diampas yang ditampilkan pada Gambar 4.2. Untuk mengetahui banyaknya slag yang terbentuk dalam proses pemaduan Fe-Cr-Ni, maka massa paduan ditimbang sebelum dan sesudah slag dihilangkan. Tabel 4.1 menunjukkan massa slag yang terbentuk pada tiap-tiap paduan.

Rata-rata massa slag yang terbentuk adalah 0.5 gram atau 2.25% dari massa paduan. Pada paduan pertama, dan kedua massa slag relatif lebih besar dibandingkan dengan paduan ketiga, dan keempat. Hal ini terjadi karena pada paduan ketiga dan keempat setelah proses peleburan material didiamkan tertutup hingga



temperatur turun, sedangkan untuk paduan pertama dan kedua setelah proses peleburan material dibiarkan terbuka di udara bebas hingga temperatur turun.

**Tabel 4.1** Tabel Massa Slag yang terdapat pada paduan Fe-Cr-Ni

	Massa dengan Slag	Massa tanpa Slag	Massa Slag	% Massa Slag
Fe-18Cr-8Ni	22,229 gr	21,7 gr	0,52 gr	2.4%
Fe-20Cr-8Ni	24 gr	23,2 gr	0,8 gr	3.4%
Fe-22Cr-8Ni	24,43 gr	23,88 gr	0,45 gr	1.88%
Fe-24Cr-8Ni	24,45gr	24,23 gr	0,32 gr	1.32%

Ditinjau dari warna hasil paduan, tidak terdapat perbedaan antara material dasar (Fe-C) yang belum dipadukan dan setelah dipadukan dengan krom dan nikel. Sebelum dipadukan baja karbon memiliki warna abu-abu, dan setelah dipadukan warna tetap abu-abu. Paduan yang telah digerinda hingga permukaan nya rata tidak ditemukan porositas yang terliha secara makro.

#### 4.2 Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni

Untuk mendapatkan hasil pepaduan yang presisi, penambahan *ferrochrome*, nikel, dan AISI 1006 dihitung menggunakan metode *mass balance* dari setiap *raw material* yang digunakan. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi perhitungan komposisi raw material yang digunakan sehingga penambahan unsur sesuai dengan yang diharapkan.

**Tabel 4.2** Pengaruh Kromium pada Komposisi Kimia *Raw Material* paduan Fe-Cr-Ni

Material	Komposisi Perhitungan (%)					
	Fe	Cr	Ni	Mn	C	Si
Fe-18Cr-8Ni	73.4	18	8	0.12	0.04	0.24
Fe-20Cr-8Ni	71.4	20	8	0.12	0.04	0.28
Fe-22Cr-8Ni	69.4	22	8	0.12	0.04	0.28
Fe-24Cr-8Ni	67.36	24	8	0.12	0.04	0.32

Setelah proses peleburan selesai, dan didapatkan sampel coran sebanyak empat buah. Sampel tersebut diuji untuk mengetahui komposisi kimia hasil paduan dilakukan dengan dua kali penembakan menggunakan optical emission spectroscopy (OES) merk Spectrolab di PT. Cast Metals Indonesia. Tabel 4.3 menunjukkan komposisi paduan yang didapat dari pengujian OES.

**Tabel 4.3** Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni

Material	Komposisi (%)						
	Fe	Cr	Ni	Mn	Si	C	others
Fe-18Cr-8Ni	74.0	15.26	8.86	0.162	0.278	0.99	0.45
Fe-20Cr-8Ni	72.8	16.20	8.95	0.192	0.431	0.89	0.54
Fe-22Cr-8Ni	71.8	17.59	8.76	0.142	0.84	0.34	0.53
Fe-24Cr-8Ni	64.4	23.48	9.76	0.310	0.60	0.69	0.76

Pengaruh penambahan kromium pada baja karbon terhadap komposisi kimia telah dipelajari. Dari Tabel 4.3 diketahui terdapat kenaikan krom yang signifikan. Pengaruh penambahan krom pada baja karbon terhadap komposisi kimia adalah naiknya kadar krom pada komposisi kimia hasil paduan.

Namun, kenaikan kadar krom tidak sesuai dengan perhitungan *raw material* yang telah dihitung dan ditimbang untuk mendapatkan paduan yang diinginkan. Hasil akhir pemaduan belum tentu sesuai dengan perhitungan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu temperatur peleburan, metode peleburan, dan

kadar dari paduan lebur yang akan mempengaruhi hasil akhir komposisi benda coran.

Pada hasil uji OES untuk paduan 18, 20, 22, dan 24% wt Cr terdapat penurunan komposisi Cr yang cukup signifikan sebesar 3%. Hal ini terjadi karena krom yang ditambahkan ke paduan menggunakan *ferrochrome low carbon* dimana rata-rata kandungan krom dalam *ferrochrome* sebesar 69%. Kandungan tersebut diukur dari sampel yang memiliki ukuran sebesar 10-50mm. Kenyataannya, terdapat *ferrochrome* yang digunakan dalam paduan tidak sebesar 10-50mm, sehingga besar kemungkinan bagian *ferrochrome* yang digunakan dalam paduan tidak mengandung krom sebesar 69% yang mengakibatkan turunya komposisi krom pada hasil coran.

Dari semua sampel hasil paduan, didapatkan kenaikan komposisi karbon (%wt C) sebesar 0.3-0.9%. Hal ini disebabkan oleh elektroda yang digunakan untuk menghantarkan arus pada Electric Arc Furnace adalah karbon, sehingga pada saat proses peleburan terdapat karbon yang masuk kedalam paduan.

### **4.3 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dari keempat spesimen dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Indentor menggunakan bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1mm dan beban 30 kgf selama 10 detik. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memberikan indentasi sebanyak tiga kali di permukaan spesimen yang telah dihaluskan menggunakan gerinda. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan *Brinell* untuk setiap spesimen.

Dalam melakukan pengujian kekerasan, diameter indentasi pada spesimen uji semakin kecil seiring dengan naiknya kekerasan pada paduan. Namun diameter indentasi yang didapat dari hasil pengujian tidak selalu sama antara satu sumbu dengan sumbu lainnya. Hal ini terjadi karena hasil indentasi tidak bulat sempurna yang mengakibatkan sulitnya untuk menentukan diameter pada hasil uji. Perbedaan diameter dalam skala  $10^{-5}$  m ini



masih dapat ditoleransi karena tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada hasil akhir perhitungan.

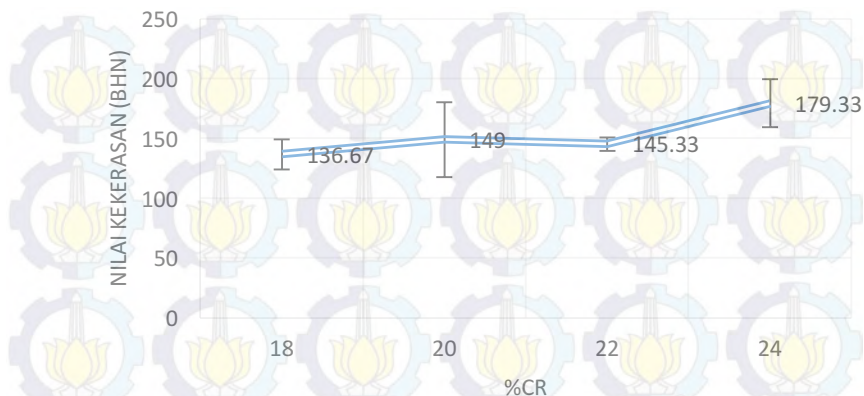
Dari Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa kekerasan baja karbon yang ditambahkan krom meningkat. Baja AISI 1006 sebelum ditambahkan krom memiliki kekerasan sebesar 118 BHN. Paduan Fe-18Cr-8Ni menghasilkan kekerasan sebesar 136.67 BHN, paduan Fe-20Cr-8Ni menghasilkan kekerasan sebesar 149 BHN, paduan Fe-22Cr-8Ni menghasilkan kekerasan sebesar 145.33 BHN, dan paduan Fe-24Cr-8Ni menghasilkan kekerasan 179.33 BHN. Nilai kekerasan pada pengujian ini tidak linear, hal tersebut terjadi karena terdapat perbedaan kadar karbon pada paduan.

Paduan Fe-18Cr-8Ni, dan Fe-20Cr-8Ni memiliki kadar karbon yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan paduan Fe-22Cr-8Ni, sehingga paduan Fe-18Cr-8Ni, dan Fe-20Cr-8Ni memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan paduan Fe-22Cr-8Ni. Karbon dalam paduan Fe-Cr-Ni cenderung membentuk karbida, semakin banyak karbida dalam paduan semakin tinggi pula kekerasannya.

Sedangkan pada paduan Fe-24Cr-8Ni, paduan ini memiliki nilai kekerasan tertinggi yang diikuti oleh tingginya nilai krom pada paduan. Banyaknya krom pada paduan meningkatkan kekerasan pada paduan tersebut. Krom meningkatkan kekerasan karena atom krom akan menyusup secara substitusi pada struktur kristal baja karbon yang menyebabkan dislokasi pada struktur kristal. Semakin banyak krom yang larut dalam paduan, semakin tinggi nilai kekerasan paduan tersebut. Mekanisme penguatan krom ini disebut pula *solid solution hardening*.

**Tabel 4.4** Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni

Spesimen	Rata-rata
Fe-18Cr-8Ni	136.67
Fe-20Cr-8Ni	149
Fe-22Cr-8Ni	145.33
Fe-24Cr-8Ni	179.33



**Gambar 4.3** Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni

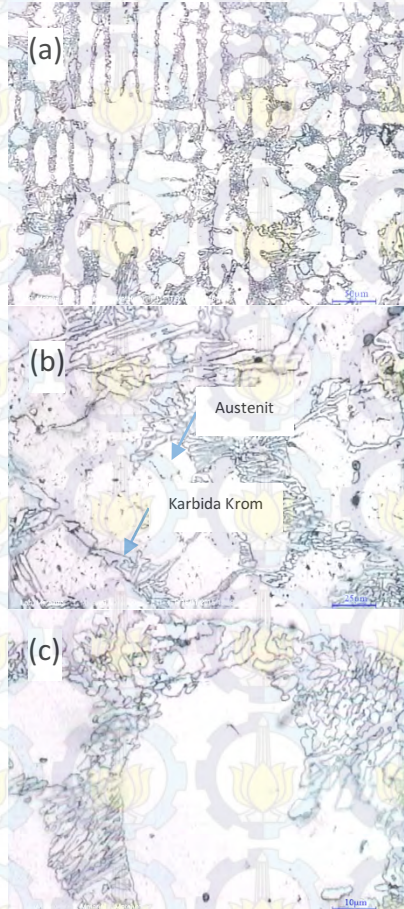
#### 4.4 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni

Perubahan struktur mikro yang terjadi karena penambahan krom telah dipelajari. Baja karbon rendah (Fe-C) memiliki struktur mikro kombinasi antara ferrit dengan pearlite. Gambar 4.4, 4.5, 4.6, dan 4.7 menunjukkan struktur mikro dari paduan Fe-18Cr-8Ni, Fe-20Cr-8Ni, Fe-22Cr-8Ni, dan Fe-24Cr-8Ni.

Penambahan krom dan nikel pada baja karbon (Fe-C) menghasilkan struktur mikro yang khas austenite dan karbida krom didapatkan dari paduan Fe-18Cr-8Ni (Gambar 4.4), Fe-20Cr-8Ni (Gambar 4.5), Fe-22Cr-8Ni (Gambar 4.6) dan Fe-24Cr-8Ni (Gambar 4.7). Struktur mikro yang didapatkan berbentuk dendritik karena mengalami pendinginan yang cepat. Fasa Austenit terbentuk karena adanya nikel yang memiliki peran sebagai penstabil austenite. Nikel merupakan penstabil austenite yang baik, sehingga fasa austenite tidak berubah hingga temperature ruang.

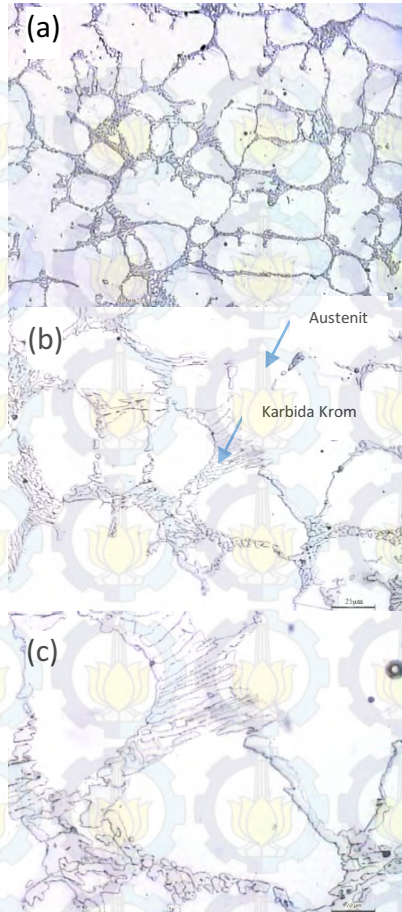
Karbida yang terdapat pada mikrostruktur terbentuk karena kandungan karbon yang tinggi sehingga karbon dan krom berikatan menjadi FeCrC. Batas butir austenite terlihat jelas dan

beberapa blok terlihat menyatu karena terjadi *recrystallization*. Variabel penambahan krom berpengaruh pada struktur mikro paduan, dengan bertambahnya unsur pembentuk karbida yaitu karbon, maka batas butir yang terdapat karbida semakin besar.

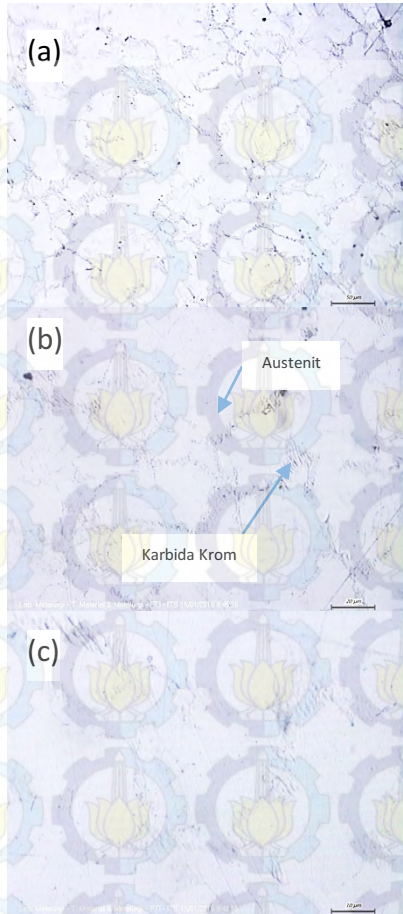


**Gambar 4.4** Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x

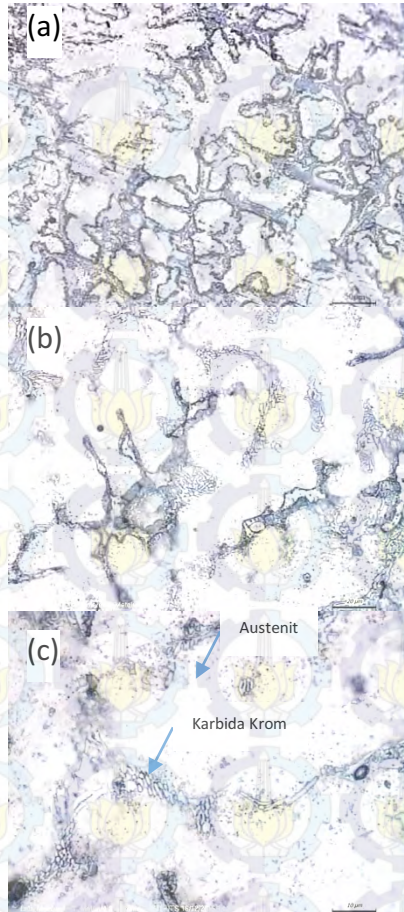




**Gambar 4.5** Struktur Mikro Paduan Fe-20Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x



**Gambar 4.6** Struktur Mikro Paduan Fe-22Cr-8Ni. (a) Perbesaran 10x; (b) Perbesaran 20x; (c) Perbesaran 50x; Perbesaran 100x.

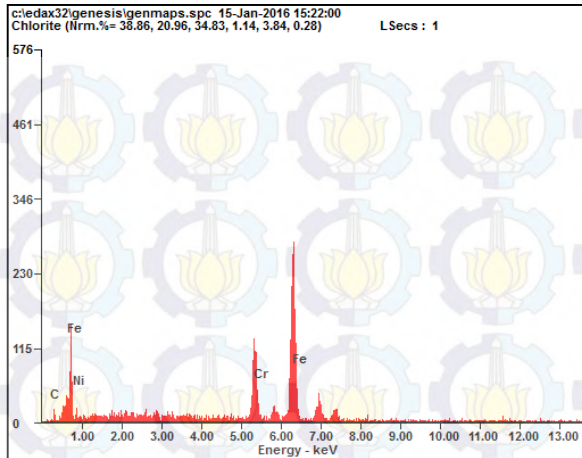


**Gambar 4.7** Struktur Mikro Paduan Fe-24Cr-8Ni. (a) Perbesaran 200x; (b) Perbesaran 500x; (c) Perbesaran 1000x

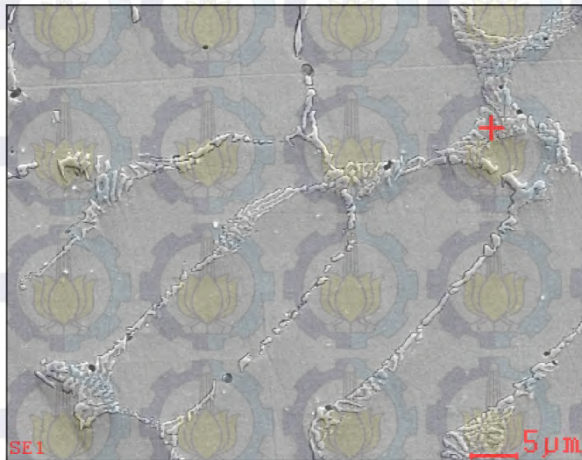
#### **4.5 Pengamatan Hasil Pengujian EDX**

Untuk memastikan bahwa struktur mikro pada batas butir merupakan karbida, maka material diuji EDX. Hasil EDX pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa batas butir memiliki komposisi FeCrC, yang berarti karbida krom.





**Gambar 4.8 Hasil Pengujian EDX**



**Gambar 4.9 Titik Pengujian Komposisi EDX pada batas butir**

#### **4.6 Pengamatan Hasil XRD Paduan Fe-Cr-Ni**

Hasil pengujian XRD dengan menggunakan X-Ray Diffraction PANalytical dengan sudut  $2\theta$   $10^\circ - 90^\circ$ , gelombang Cu  $K\alpha$  sebesar  $1.5406 \text{ \AA}$ , yang ditunjukkan di Gambar 4.10,

mengilustrasikan adanya fasa austenit yang diwakili oleh 2 *peak*. *Peak* pertama terdapat pada 2theta 44.19 teridentifikasi sebagai Fe gamma ( $\gamma$ ) (pdf nomor 00-033-0397) dengan struktur kubik FCC. *Peak* kedua terdapat pada 2theta 51.22 teridentifikasi sebagai Fe gamma ( $\gamma$ ) (pdf nomor 00-033-0397) dengan struktur kubik FCC. Gamma memiliki parameter kristal  $a = 3,5911 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,5911 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,5911 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  dan bidang kisi (111) dan (200). *Peak* ketiga terdapat pada 2theta 74.95 teridentifikasi sebagai  $\text{Cr}_{21.34}\text{Fe}_{1.66}\text{C}_6$  (pdf nomor 01-078-1500) dengan struktur kubik FCC. CrFeC memiliki parameter kristal  $a = 10,6454 \text{ \AA}$ ,  $b = 10,6454 \text{ \AA}$ ,  $c = 10,6454 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  dan bidang kisi (311).

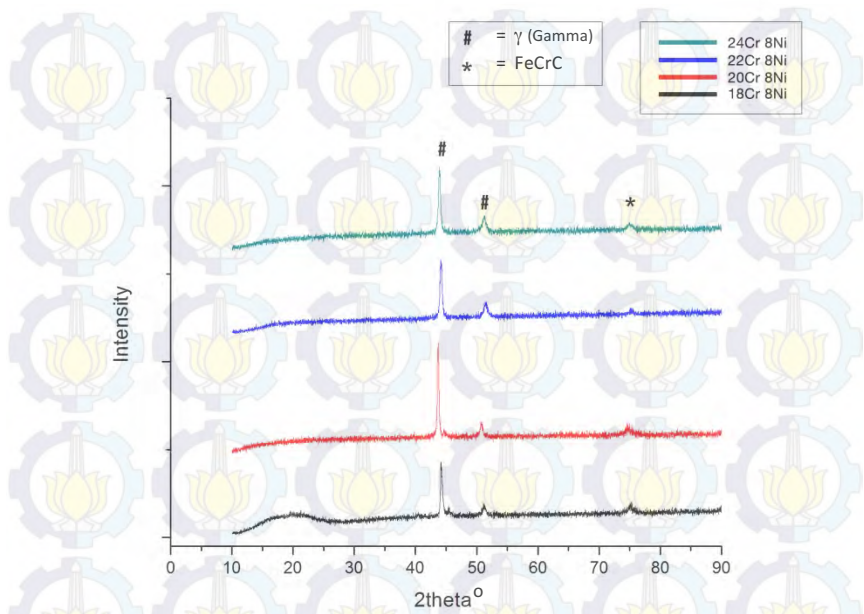
Penambahan krom pada paduan, tidak menghasilkan fasa baru. Hal ini menunjukkan bahwa krom larut seluruhnya dalam fasa austenit. Berdasarkan data pada Tabel 4.5 FWHM (*Full width height maximum*) untuk masing-masing sampel menunjukkan peningkatan, artinya terjadi mekanisme *broadening peak* pada sampel tersebut. Data FWHM masing-masing specimen berguna untuk mengetahui regangan pada system kristal yang terjadi akibat adanya Cr yang terlarut. Naiknya nilai FWHM secara linear dengan bertambahnya krom pada paduan membuktikan bahwa memang krom larut dalam fasa austenit (L. Tan, 2015).

Dapat diamati melalui Gambar 4.10 bahwa semakin meningkat kadar karbon maka terjadi perubahan intensitas puncak. Intensitas puncak FeCrC meningkat seiring dengan naiknya kadar karbon. Keberadaan unsur karbon akan memicu unsur pembentuk karbida (Fe, Mo, V, dan Cr) membentuk senyawa karbida. Jumlah kromium dan karbon sangat menentukan pembentukan karbida ini. Kromium merupakan unsur pembentuk karbida (senyawa yang terbentuk oleh ikatan dengan karbon). Namun, afinitas kromium terhadap karbon lebih rendah daripada besi (Avner. 1974). Sehingga unsur besi akan mengikat karbon lebih awal untuk membentuk karbida primer. Sedangkan karbida kromium akan muncul sebagai karbida sekunder ketika kadar karbon mencukupi.

**Tabel 4.5** Spesifikasi Peak pada Setiap Material

Material	Position 2 $\theta$	Intensity	FWHM ( $^{\circ}$ )
Fe-18Cr-8Ni	44.14	567.26	0.2339
	51.22	95.82	0.2339
	74.93	36.76	0.2433
Fe-20Cr-8Ni	43.96	1053.85	0.3008
	50.72	134.78	0.3008
	74.49	37.44	0.3138
Fe-22Cr-8Ni	44.08	565.47	0.4679
	50.92	147.82	0.4679
	75.15	85.92	0.8172
Fe-24Cr-8Ni	44.08	668.50	0.4458
	51.22	157.08	0.635
	75.45	55.44	1.6865





**Gambar 4.10** Grafik Pengujian XRD Keempat Spesimen.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Penambahan krom (Cr) pada paduan Fe-Cr-Ni dapat meningkatkan nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Fe-24Cr-8Ni, yaitu 240 BHN.
2. Penambahan krom (Cr) pada paduan Fe-Cr-Ni dapat mempengaruhi struktur mikro paduan dengan membentuk karbida dan austenit. Dengan bertambahnya unsur pembentuk karbida dengan jumlah karbon yang cukup maka batas butir yang berisi karbida semakin tebal.

#### **5.2 Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggunaan elektroda karbon pada saat peleburan tidak disarankan karena karbon akan larut pada paduan menyebabkan kenaikan kadar karbon pada paduan.
2. Disarankan setiap material paduan didinginkan dengan laju pendinginan yang sama.



## DAFTAR PUSTAKA

- \_. 1990. **ASM Metals Handbook, Vol 02 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials**. The Materials Information Company.
- \_. 1992. **ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram**. The Materials Information Society
- Aggen, G. 1998. **ASM Metals Handbook, Vol 01 Properties and Selection Irons, Steels, and High Performance Alloys**. New York.
- Avner, S. H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Bahdesia, H. 2006. **Steel Microstructure and Properties**. Burlington: Elsevier.
- Banga, T. 1981. **Foundry Engineering**. New Delhi: Khanna Publisher.
- Brady, G. S. 2002. **Materials Handbook Fifteenth Edition**. New York : McGraw-Hill Company.
- Callister, W. D. 1940. **Material Science and Engineering and Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Chijiwa, K. 2006. **Teknik Pengecoran Logam**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- D. M. Moore and R. C. Reynolds, J. 1997. **X-Ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals 2nd**. New York: Oxford University Press.
- Dipti Samantaray, V. K. 2013. Microstructural Evolution and Mechanical Properties of type 304L Stainless Steel Processed in Semi-Solid State. **International Journal of Metallurgical Engineering** , 149-153.
- Gulyayev, D. T. 1984. Effect of Chromium and Nickel on Toughness of Steel. **Materials Science and Engineering A639** , 491-493.
- Harvey, P. D. 1982. **Engineering Properties of Steels**. Metals Park: American Society for Metals.

- Hermas, A. A. 2001. Microstructure, corrosion and mechanical properties of 304 stainless steel containing copper, silicon, and nitrogen. , 3415-3422.
- J. W. Fu, Y. S. 2008. Effect of Cooling Rate on Solidification Microstructures in AISI 304 Stainless Steel. **Institute of Materials, Minerals, and Mining** , 941-944.
- Kopeliovich, D. 2013. **Effect of Alloying Elements**. London: EPMA.
- L. Tan, Y. Y. 2015. In situ phase transformation of Laves phase from Chi-phase in Mo- containing Fe–Cr–Ni alloys. **Materials Letter 158** , 233-236.
- Mizukami, H, Suzuki T. 1993. Initial Stage of Rapid Solidification of 18-8 Stainless Steel. **Material Science and Engineering A173**, 363-366
- Moissan, H. 1904. **The Electric Furnace**. London: Edward Arnold.
- Molian, P. 1983. Transformation structures and strengthening mechanism of laser processed Fe-Cr Alloys. **Journal of Material Science** , 2568.
- Outokompu Oyj. 2013. **Handbook of Stainless Steel**. Avesta: Sandvikens Tryckeri AB.
- Schwartz, M. 2002. **Encyclopedia of Materials Parts and Finishes**. Florida: CRC Press.
- Sudjana, H. 2008. **Teknik pengecoran untuk SMK**. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Shah, K. P. 2009. **The Hand Book on Mechanical Maintenance**. New York: New York Press.
- Zhang, Shenghua., Wang, Pei. 2015. Investigation of the evolution of retained austenite in Fe-13%Cr-4%Ni martensitic stainless steel during intercritical tempering. **Materials and Design 84**, 385-394.

## LAMPIRAN

### Lampiran A :

### Spesifikasi Material Lebur

### Baja AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT

#### OES Chemical Results

Sample ID : 1

Material :

CARBON STEEL

Customer : ADHA ISORI HARTATA

Dimension :

Lab-no : UJI BAHAN

Heat-no :

Operator : ELHAM

Ka. Laboratorium

M.THORIQ WAHYUDI

Date: 3/31/2015

#### Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.5	0.0375	0.0205	0.211	0.0094	0.0089	0.0304	< 0.0050
2	99.5	0.0373	0.0199	0.208	0.0092	0.0079	0.0253	< 0.0050
3	99.5	0.0324	0.0185	0.211	0.0086	0.0072	0.0270	< 0.0050
Ave	99.5	0.0358	0.0200	0.210	0.0091	0.0080	0.0276	< 0.0050

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0305	0.0464	< 0.0050	0.0363	0.0103	0.0066	< 0.0050	< 0.0050
2	0.0308	0.0449	< 0.0050	0.0377	0.0122	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3	0.0264	0.0450	< 0.0050	0.0384	0.0198	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave	0.0292	0.0454	< 0.0050	0.0375	0.0140	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050

	Pb
1	< 0.0050
2	< 0.0050
3	< 0.0050
Ave	< 0.0050



## Ferrochrome

### CERTIFICATE OF ANALYSIS AND WEIGHT

Our Invoice No. : X 489

Order No. #0114000243

Material Low Carbon Ferro Chrome 010

Size : 10 - 30mm (90% min.)

We hereby certify that the weight and the chemical analysis of the above material is as follows:-

Chemical Analysis:

Cr : 69.00%

C : 0.067%

Si : 0.90%

S : 0.010%

P : 0.028%

Weight: 25,000 mt nett in 1 metric ton bulk bags.

Selling ex Vostochoy to Jakarta per 'Hyundai Future' Voy. 472 on 4 September 2014.

For and on behalf of  
INNOMET

## Lampiran B:

### Perhitungan Komposisi Paduan

#### Paduan 18Cr8Ni

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur (%)								Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi Terhadap Paduan (gr)							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI 1006	99.50	0.03	0.02	0.21	0.01	0.01	0.03	0.03	16.48	65.91	16.40	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
FerroChrome	30.00	0.07	0.90	0.00	0.03	0.01	69.00	0.00	6.52	26.09	1.96	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	4.50	0.00
Nikel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.90	2.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Subtotal									25	100	18.35	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	4.50	2.00

#### Paduan 20Cr8Ni

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur (%)								Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi Terhadap Paduan (gr)							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI 1006	99.50	0.03	0.02	0.21	0.01	0.01	0.03	0.03	15.75	63.01	15.67	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
FerroChrome	30.00	0.07	0.90	0.00	0.03	0.01	69.00	0.00	7.25	28.99	2.17	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00	5.00	0.00
Nikel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.90	2.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Subtotal									25	100	17.85	0.01	0.07	0.03	0.01	0.01	5.00	2.00

### Paduan 22Cr8Ni

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur (%)								Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi Terhadap Paduan (gr)							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI 1006	99.50	0.03	0.02	0.21	0.01	0.01	0.03	0.03	15.03	60.12	14.95	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
FerroChrome	30.00	0.07	0.90	0.00	0.03	0.01	69.00	0.00	7.97	31.88	2.39	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00	5.50	0.00
Nikel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.90	2.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Subtotal									25	100	17.35	0.01	0.07	0.03	0.02	0.01	5.50	2.00

### Paduan 24Cr8Ni

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur (%)								Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi Terhadap Paduan (gr)							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
AISI 1006	99.50	0.03	0.02	0.21	0.01	0.01	0.03	0.03	14.30	57.22	14.23	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
FerroChrome	30.00	0.07	0.90	0.00	0.03	0.01	69.00	0.00	8.70	34.78	2.61	0.01	0.08	0.00	0.01	0.00	6.00	0.00
Nikel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.90	2.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Subtotal									25	100	16.84	0.01	0.08	0.03	0.02	0.01	6.00	2.00



## Lampiran C:

### Hasil Pengujian OES

#### Paduan 18Cr8Ni

Program: Fe-01-M  
Comment: Orientation  
Average (n=1)

125981/08

12/01/2015 10:53:28 PM

Elements: Concentration

Material:  
Batch/ lot No:

Sample No: 1  
Hardness:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %
- x	0.99	0.278	0.162	0.033	0.065	15.26	8.86	0.037	0.0041
	Cu %	Co %	Ti %	Nb %	V %	W %	Pb %	Mg %	B %
- x	0.033	0.0099	0.0041	0.032	0.029	<0.0070	<0.0020	0.018	0.0024
	Sb %	Sn %	Zn %	As %	Bi %	Ta %	Ca %	Ce %	Zr %
- x	0.0093	0.0048	0.018	0.027	<0.0015	0.081	0.0021	0.0079	0.0039
	La %	Se %	N %	Fe %					
- x	0.0026	0.025	0.028	74.0					

#### Paduan 20Cr8Ni

Program: Fe-01-M  
Comment: Orientation  
Average (n=1)

125981/08

12/01/2015 11:09:47 PM

Elements: Concentration

Material: 304  
Batch/ lot No:

Sample No: 10  
Hardness:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %
- x	0.89	0.431	0.192	0.027	0.026	16.20	8.95	0.038	0.0048
	Cu %	Co %	Ti %	Nb %	V %	W %	Pb %	Mg %	B %
- x	0.034	0.0082	0.0052	0.033	0.032	<0.0070	<0.0020	0.019	0.0016
	Sb %	Sn %	Zn %	As %	Bi %	Ta %	Ca %	Ce %	Zr %
- x	0.012	0.0050	0.019	0.023	<0.0015	0.100	0.0038	0.012	0.0061
	La %	Se %	N %	Fe %					
- x	0.0030	0.034	0.021	72.86					

## Paduan 22Cr8Ni

Program: Fe-01-M  
Comment: Orientation  
Average (n=1)

125981/08

12/01/2015 10:48:13 PM

Elements: Concentration

Material: 304  
Batch/ lot No:

Sample No: 3  
Hardness:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.338	0.84	0.142	0.040	0.068	17.59	8.76	0.042	0.0043
	Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.034	0.010	0.0055	0.035	0.037	<0.0070	<0.0020	0.020	0.0029
	Sb	Sn	Zn	As	Bi	Ta	Ca	Ce	Zr
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.0035	0.0054	0.021	0.029	<0.0015	0.100	0.0012	0.012	0.0062
	La	Se	N	Fe					
-	%	%	%	%					
x	0.0037	0.029	0.021	71.8					

## Paduan 24Cr8Ni

Program: Fe-01-M  
Comment: Orientation  
Average (n=1)

125981/08

12/01/2015 10:57:19 PM

Elements: Concentration

Material:  
Batch/ lot No:

Sample No: 14  
Hardness:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.69	0.60	0.310	0.038	0.021	23.48	9.76	0.060	0.0044
	Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.029	0.0050	0.0092	0.059	0.050	<0.0070	<0.0020	0.031	0.0014
	Sb	Sn	Zn	As	Bi	Ta	Ca	Ce	Zr
-	%	%	%	%	%	%	%	%	%
x	0.0047	0.0063	~0.032	0.033	<0.0015	0.137	0.0013	0.023	0.0079
	La	Se	N	Fe					
-	%	%	%	%					
x	0.0065	0.033	0.124	64.4					

## Lampiran D :

### Hasil Pengujian XRD

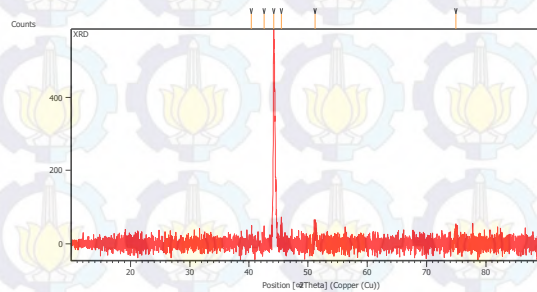
#### Paduan 18Cr8Ni

Teknik Material dan Metalurgin

Page 2

1/19/16

#### Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.3955	26.43	0.4015	2.23291	4.66
42.5644	16.96	0.2676	2.12402	2.99
44.1398	567.26	0.0836	2.05180	100.00
45.4651	65.39	0.2676	1.99502	11.53
51.2216	95.82	0.4015	1.78352	16.89
74.9392	36.76	0.4015	1.26728	6.48

#### Pattern List: (Bookmark 4)

#### Document History: (Bookmark 5)

##### Insert Measurement:

- File name = "XRD.xrdml"
- Modification time = "11/19/2015 3:41:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

##### Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"

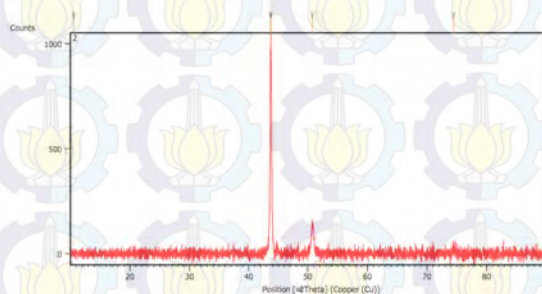


## Paduan 20Cr8Ni

Teknik Material dan Metalurgia

Page 2

1/19/16



### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. (°2Th.)	Height (cts)	FWHM Left (°2Th.)	d-spacing [Å]	Rel. Int. (%)
10.5509	3.52	0.5353	8.38483	0.33
43.6189	855.30	0.1020	2.07337	81.16
43.6925	1053.85	0.0836	2.07176	100.00
50.7206	134.78	0.4015	1.79996	12.79
74.4924	37.44	0.5353	1.27377	3.55

### Pattern List: (Bookmark 4)

### Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = 2.rd
- Modification time = "12/18/2015 11:03:50 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

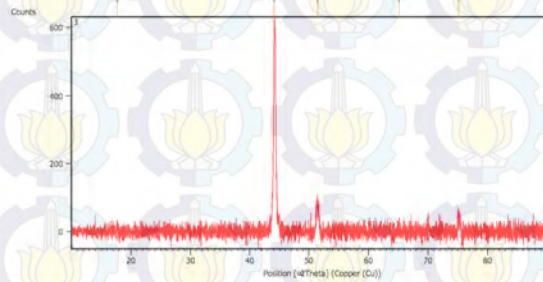
- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "12/18/2015 11:03:50 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"

## Paduan 22Cr8Ni

Teknik Material dan Metalurgin Page 2 1/19/16



### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. (°2Th.)	Height (cts)	FWHM Left (°2Th.)	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.7101	15.92	0.1673	5.00820	2.82
44.0800	565.47	0.1338	2.05444	100.00
51.4526	147.82	0.6022	1.77605	26.14
65.1352	19.71	0.4015	1.43218	3.49
75.1571	85.92	0.4684	1.26415	15.20

### Pattern List: (Bookmark 4)

### Document History: (Bookmark 5)

#### Insert Measurement:

- File name = 3.rd
- Modification time = "12/18/2015 11:04:34 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

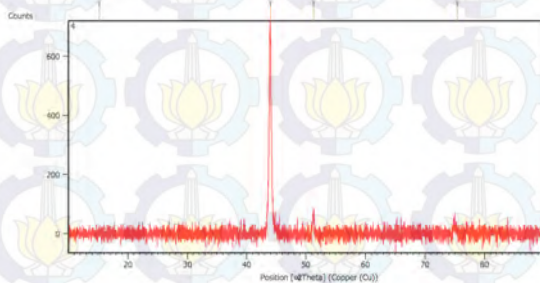
#### Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "12/18/2015 11:04:34 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

#### Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"

# Paduan 24Cr8Ni



## Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
15.2254	15.38	0.4684	5.81945	2.30
43.9692	668.50	0.2676	2.05936	100.00
51.2626	157.08	0.3346	1.78219	23.50
75.4504	55.44	0.1338	1.25996	8.29

## Pattern List: (Bookmark 4)

## Document History: (Bookmark 5)

### Insert Measurement:

- File name = 4.rd
- Modification time = "12/18/2015 11:05:10 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

### Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "12/18/2015 11:05:10 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

### Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"



## Lampiran E :

### JCPDS Card

#### Name and formula

Reference code:	01-089-7245
Compound name:	Chromium Iron Carbide
Empirical formula:	$\text{CCr}_2\text{Fe}_{14}$
Chemical formula:	$\text{Cr}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	7.2000
b (Å):	7.2000
c (Å):	7.2000
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 373.25

Z: 2.00

RIR: 7.62

#### Subfiles and quality

Subfiles:

Alloy, metal or intermetallic  
ICSD Pattern

Quality:

Inorganic  
Indexed (I)

### Comments

ANX:

NO2P14

Creation Date:

11/20/2008

Modification Date:

1/19/2011

ANX:

NO2P14

Analysis:

C1 Cr2 Fe14

Formula from original source: Cr2 Fe14 C

ICSD Collection Code:

76800

Minor Warning:

No R factors  
reported/abstracted

Wyckoff Sequence:

e d c b a(FM3-M)

Unit Cell Data Source:

Powder Diffraction.

### References

Primary reference:

Calculated from ICSD using  
POWD-12++

Structure:

Arbuzov, M.P., Golub, S.Ya.,  
Karpets, M.V., Fiz. Met.  
Metalloved., **62**, 108, (1986)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.15690	21.358	0.1
2	2	0	0	3.60000	24.710	0.1
3	2	2	0	2.54560	35.228	0.1
4	3	1	1	2.17090	41.566	0.1
5	2	2	2	2.07850	43.506	100.0

6	4	0	0	1.80000	50.674	44.6
7	3	3	1	1.65180	55.594	0.1
8	4	2	0	1.61000	57.168	0.1
9	4	2	2	1.46970	63.218	0.1
10	5	1	1	1.38560	67.550	0.1
11	4	4	0	1.27280	74.487	18.8
12	5	3	1	1.21700	78.536	0.1
13	6	0	0	1.20000	79.870	0.1
14	6	2	0	1.13840	85.165	0.1
15	6	2	2	1.08540	90.420	17.0
16	4	4	4	1.03920	95.675	4.9
17	7	1	1	1.00820	99.642	0.1
18	6	4	0	0.99850	100.970	0.1
19	6	4	2	0.96210	106.383	0.1
20	7	3	1	0.93740	110.519	0.1
21	8	0	0	0.90000	117.716	2.2
22	7	3	3	0.87960	122.265	0.1
23	8	2	0	0.87310	123.832	0.1
24	8	2	2	0.84850	130.416	0.1
25	6	6	2	0.82590	137.713	7.1
26	8	4	0	0.80500	146.232	7.2

### **Name and formula**

Reference code:

00-033-0397

Compound name:

Chromium Iron Nickel  
Carbon

Common name:

304-stainless steel,  
austenite

Empirical formula:

$\text{C}_{0.06}\text{Cr}_{0.29}\text{FeNi}_{0.16}$

Chemical formula:

$\text{FeCr}_{0.29}\text{Ni}_{0.16}\text{C}_{0.06}$

### **Crystallographic parameters**

Crystal system:

Cubic



Space group: Fm-3m  
Space group number: 225

a (Å): 3.5911  
b (Å): 3.5911  
c (Å): 3.5911  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 46.31  
Z: 4.00

RIR: -

### **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Star (S)

### **Comments**

Color: Black  
Creation Date: 12/8/1982  
Modification Date: 1/11/2011  
Analysis: Quantitative analysis by  
Atomic Absorption  
Spectroscopy: chromium  
17.9%, nickel 11.4%,  
molybdenum <0.01%,  
silicon 0.88%, analysis

incomplete. Color: Black.

General Comments:

Austenitic steel. Synthetic  
taenite is "Ni"- "Fe" rich  
analog.

### **References**

Primary reference:

Pfoertsch, Ruud, Penn State  
University, University Park,  
Pennsylvania, USA., ICDD  
Grant-in-Aid, (1982)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.07500	43.583	100.0
2	2	0	0	1.79610	50.792	45.0
3	2	2	0	1.26970	74.699	26.0
4	3	1	1	1.08280	90.697	30.0
5	2	2	2	1.03680	95.968	12.0
6	4	0	0	0.89790	118.161	3.0

## Lampiran F :

### Hasil Pengujian EDX

#### Microanalysis Report

Prepared for:

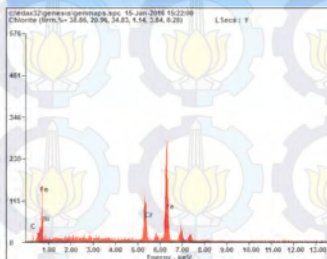
Company Name Here

Prepared by:

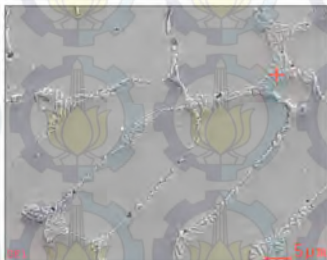
Your Name Here

1/15/2016

**EDAX** <sup>TSI</sup>  
Advanced Microanalysis Systems  
**AMETEK**

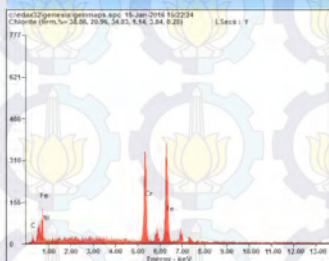


Element	Wt%	At%
CK	09.30	32.02
NiL	11.69	08.24
CrK	21.91	17.43
FeK	57.10	42.30
Matrix	Correction	ZAF

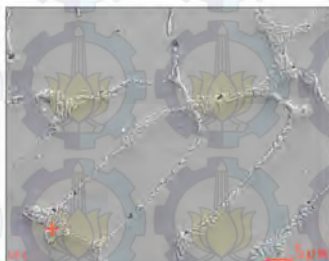




## 1/15/2016



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	08.66	30.08
<i>NiL</i>	09.46	06.72
<i>CrK</i>	37.27	29.89
<i>FeK</i>	44.60	33.31
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



## Microanalysis Report

Prepared for:

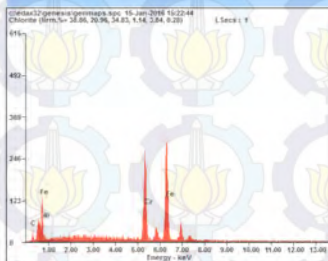
Company Name Here

Prepared by:

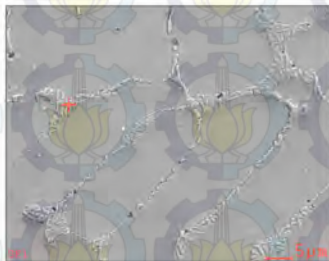
Your Name Here

1/15/2016

**EDAX**<sup>™</sup> TSL  
an edax technologies company  
advanced microanalysis solutions  
**AMETEK**



Element	Wt%	At%
CK	09.92	33.34
NiL	09.93	06.83
CrK	34.98	27.17
FeK	45.18	32.67
Matrix	Correction	ZAF



## Microanalysis Report

Prepared for:

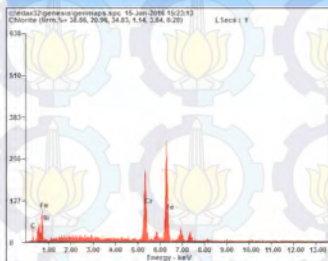
Company Name Here

Prepared by:

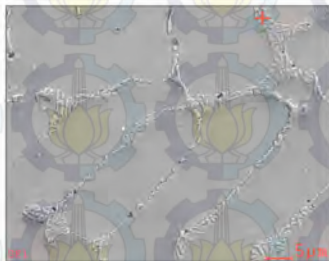
Your Name Here

1/15/2016

**EDAX**<sup>™</sup> TSL  
an edax company  
advanced microanalysis solutions  
**AMETEK**



Element	Wt%	At%
CK	10.72	35.37
NiL	09.32	06.28
CrK	31.29	23.84
FeK	48.67	34.51
Matrix	Correction	ZAF





## Microanalysis Report

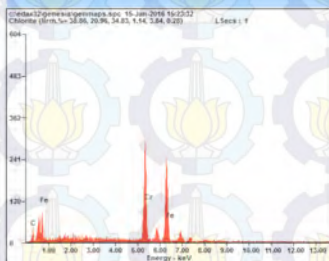
Prepared for: **Company Name Here**

Prepared by: **Your Name Here**

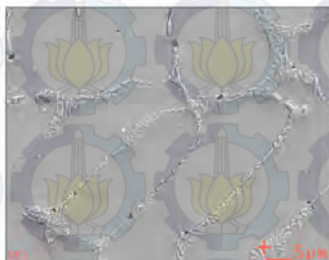
1/15/2016



AMETEK



Element	Wt%	At%
CK	13.58	41.30
CrK	44.80	31.48
FeK	41.62	27.22
Matrix	Correction	ZAF



## Microanalysis Report

Prepared for:

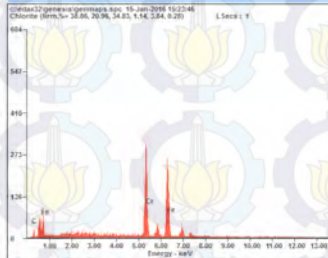
Company Name Here

Prepared by:

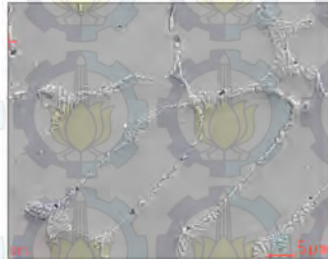
Your Name Here

1/15/2016

**EDAX**<sup>™</sup> TSL  
analogous microanalysis solutions  
**AMETEK**



Element	Wt%	At%
CK	10.25	33.83
CrK	47.14	35.94
FeK	42.61	30.24
Matrix	Correction	ZAF



## Microanalysis Report

Prepared for:

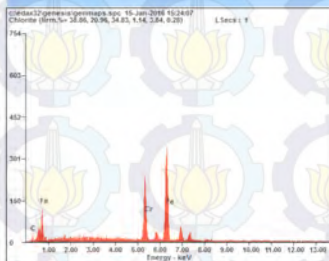
Company Name Here

Prepared by:

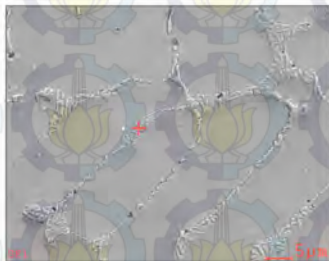
Your Name Here

1/15/2016

**EDAX**<sup>™</sup> TSL  
analogous microanalysis solutions  
**AMETEK**



Element	Wt%	At%
CK	04.27	16.82
CrK	34.21	31.11
FeK	61.52	52.08
Matrix	Correction	ZAF





## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Marvin Suganda Gunawan. Anak kedua dari dua bersaudara ini lahir di Jakarta, 25 Mei 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK Santo Paulus Jakarta (2000-2006), SMPK Santo Paulus Jakarta (2006-2009), SMAK 3 BPK Penabur Jakarta (2009-2012) dan diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS melalui jalur mandiri ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2712 100 129.

Penulis aktif dalam organisasi di dalam maupun luar kampus sebagai staff Hubungan Luar BEM FTI-ITS 2013/2014 serta menjadi staff HSnL AIESEC Surabaya 2014/2015. Penulis juga aktif mengikuti berbagai perlombaan diantaranya adalah sebagai finalis Harvard National Model United Nations 2015 di Harvard University, Juara 3 International Business Plan Competition, dan salah satu penerima beasiswa Astra 1<sup>st</sup> 2014.

Di sela-sela libur semester perkuliahan, penulis mengikuti International Summer School yang diadakan oleh Feng Chia University, Taiwan dan melakukan kerja praktik di PT. Astra Otoparts Tbk. Divisi Nusa Metal.

Dengan perjuangan serta doa, akhirnya penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Kromium (Cr) Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni melalui Proses Pengecoran dengan Menggunakan *Electric Arc Furnace*.”, dan mengantarkan penulis lulus dari ITS dengan gelar sarjana Teknik.

**Marvin Suganda Gunawan**  
[Marselus.marvin@gmail.com](mailto:Marselus.marvin@gmail.com)  
+62-81311101280